ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 22 FÉVRIER 1937.

PRÉSIDENCE DE M. EMMANUEL LECLAINCHE.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. le **MINISTRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE** adresse ampliation du décret, en date du 14 février 1937, portant approbation de l'élection que l'Académie a faite de M. **JEAN CHAZY** pour occuper dans la Section d'Astronomie la place vacante par le décès de M. *M. Hamy*.

Il est donné lecture de ce décret.

Sur l'invitation de M. le Président, M. **JEAN CHAZY** prend place parmi ses Confrères.

Après le dépouillement de la Correspondance M. le **PRÉSIDENT** s'exprime en ces termes :

Mes chers Confrères,

Un lourd et fatal destin nous accable. Pour la quatrième fois depuis quelques semaines nous nous levons pour honorer la mémoire de l'un des nôtres. **PAUL JANET** est mort dans l'après-midi d'hier, après une courte maladie.

Né à Paris le 10 janvier 1863, Janet est licencié ès sciences physiques et mathématiques pendant sa scolarité à l'École Normale; il est agrégé des sciences physiques à la fin de ses études, en 1886, et docteur ès sciences physiques en 1890. Un hasard heureux l'envoie à Grenoble pour y enseigner la Physique générale à la Faculté des Sciences. C'est là qu'ont été réalisées, trois années auparavant, les belles expériences de Marcel Deprez sur le transport électrique de la puissance mécanique. Le jeune professeur

comprend aussitôt l'intérêt d'un enseignement technique de l'électricité au centre d'une région où abondent les sources d'énergie mécanique.

En 1891, il fait émettre par la Faculté des Sciences un vœu tendant à la création d'une chaire d'Electricité industrielle; mais, sans attendre le résultat problématique et lointain d'une démarche administrative, il ouvre, le 2 février 1892, avec l'appui de la municipalité, un cours du soir en huit leçons sur les premiers principes de l'électricité industrielle. Le succès dépasse toute attente; les locaux sont trop petits pour contenir les auditeurs; la Chambre de Commerce ouvre une souscription; le Conseil municipal de Grenoble et le Conseil général de l'Isère accordent des subventions; en quelques mois, par l'initiative privée, un Institut électrotechnique est créé à la Faculté des Sciences. On sait ce qu'il est devenu. Paul Janet fut le merveilleux animateur d'un mouvement qui devait gagner toute la France.

En novembre 1894, il est appelé à la Faculté des Sciences de Paris. Il existe, depuis 1881, un Laboratoire central d'Électricité, créé sur l'initiative de la Société des Électriciens, établissement privé qui poursuit à la fois des travaux scientifiques et techniques. Mascart, président de la Commission administrative, choisit Janet pour le diriger.

Les travaux réalisés sur la détermination des étalons électriques, sur les mesures et le contrôle des instruments et des appareils, présentés à l'Académie en 1910 et en 1912, constituent un monument scientifique en même temps qu'une base solide pour les études d'électricité industrielle. En 1894, l'École Supérieure d'Électricité est créée par la Société des Électriciens; ses statuts en font une institution entièrement indépendante, et son Directeur se plaisait à constater que cette situation n'avait certainement pas nui à la réputation dont elle jouit en France et dans le monde.

C'est dans la direction de ce centre d'études et de documentation que Janet devait donner toute la mesure de ses éminentes qualités de savant et d'organisateur.

Ses travaux, portant sur de multiples questions, seraient suffisants pour lui assurer un rang éminent parmi les physiciens de l'époque, mais son œuvre d'enseignant et d'organisateur retient surtout l'attention. Les *Premiers principes d'Électricité industrielle*, publiés à Grenoble pour ses premiers disciples, constituent une œuvre admirable au point de vue pédagogique. Il s'agissait en l'espèce d'éviter l'écueil de la vulgarisation et cependant de donner à des auditeurs insuffisamment préparés en général des idées exactes sur une science d'un accès difficile entre tous. C'est

l'imagination de l'élève que l'auteur sollicite : « Nous l'avons largement mise à contribution dans cet ouvrage », dit-il dans sa préface ; « elle permettra au lecteur d'arriver à des notions précises, à des idées vraies, sans passer par le long détour des mathématiques qui, s'il aboutit à la rigueur la plus absolue, n'est peut-être pas le chemin le plus naturel pour parvenir à des notions fondamentales ». Livre de vulgarisation tout de même, mais aussi livre bien français par sa lumineuse clarté. Les ouvrages publiés ensuite, destinés ceux-là à une autre catégorie d'élèves, ont un caractère différent et cependant ils procèdent de la même inspiration et l'auteur ne veut voir en eux qu'une suite aux *Premiers principes*, ouvrage de jeunesse et d'enthousiasme qui lui rappelait ses meilleurs souvenirs.

Ce n'est pas en cette minute troublée et dans une Note hâtivement rédigée qu'il est possible d'évoquer comme il conviendrait l'œuvre de Janet et le rôle considérable qu'il a rempli, en France et à l'étranger, dans la science et dans l'industrie.

Trois fois lauréat de notre Académie, il avait reçu en 1913 la grande médaille d'or à l'effigie d'Ampère, de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale et, en 1930, la médaille Mascart lui était attribuée par la Société française des Électriciens. Il avait été élu Membre libre en 1919, en remplacement de Landouzy.

Notre Confrère laisse parmi nous de durables souvenirs. Nous l'aimions à la fois pour sa bonté, pour sa simplicité et pour la cordialité de son accueil, peut-être aussi pour l'apparente timidité qui dissimulait sa magnifique énergie. Avec lui disparaît un grand savant, un grand travailleur et un puissant créateur.

A Madame Paul Janet, à ses enfants et à toute sa famille, nous adressons l'expression de nos profonds regrets et de notre cordiale sympathie.

La séance publique sera levée en signe de deuil, après l'élection inscrite à l'ordre du jour.

AGRONOMIE. — *Possibilité de mesurer séparément, à tout moment de la végétation, l'effet nutritif et l'effet améliorant d'un apport d'engrais.* Note [1] de MM. **Henri Lagatu** et **Louis Maume**.

Tout phénomène d'alimentation végétale comporte nécessairement en agronomie deux points de vue distincts : l'un qui, ressortissant à la phy-

---

(1) Séance du 15 février 1937.

siologie, note à la fois le phénomène et les conditions où on l'a obtenu, par exemple l'engrais agissant sur une plante donnée, à un moment donné de sa végétation et de l'évolution du milieu (sol et atmosphère); l'autre qui, ressortissant à la critique des valeurs, juge le phénomène sur son utilité pratique.

La méthode d'analyse périodique d'une feuille prise en place convenablement choisie (diagnostic foliaire) permet de mesurer séparément ces deux effets distincts d'un engrais.

Soient les teneurs respectives en azote, acide phosphorique et potasse pour 100 de matière sèche de la feuille : x, y, z dans la plante fumée; a, b, c dans la plante témoin au même moment; a_0, b_0, c_0 dans la plante présentant l'optimum d'alimentation. Ces grandeurs recèlent implicitement deux caractères distincts : d'une part celui qui résulte de leurs rapports mutuels, lesquels définissent l'équilibre NPK dans la feuille et sont des invariants quelles que soient les teneurs en autres matières (matière organique, eau, autres constituants minéraux); d'autre part le caractère qui résulte de leur somme $x+y+z=s$ (de même $a+b+c=t$, $a_0+b_0+c_0=t_0$), laquelle définit la quantité globale d'alimentation NPK pour 100 de matière sèche. Si l'on s'en tient, comme de coutume, aux trois principes fertilisants principaux, il nous paraît préférable, bien que nos raisonnements puissent s'appliquer aux teneurs x, y, z, etc., de considérer séparément ces deux caractères en les explicitant. Posant $X=100\,x/s$, $Y=100\,y/s$, $Z=100\,z/s$, on a $X+Y+Z=100$ (de même $A+B+C=100$, $A_0+B_0+C_0=100$).

Effet nutritif. — 1° *Sur l'équilibre* NPK : il est mesuré par le déplacement de l'équilibre (point de départ) du témoin A, B, C pour aller à l'équilibre (point d'arrivée) de la plante fumée X, Y, Z, par conséquent par les différences :

Pour l'azote..................	$X-A$
Pour l'acide phosphorique.....	$Y-B$
Pour la potasse...............	$Z-C$

qui sont positives ou négatives, leur somme étant toujours nulle.

2° *Sur l'alimentation globale* NPK : il est mesuré par la différence $s-t$.

Effet améliorant. — La notion même d'amélioration suppose une norme connue à réaliser : optimum A_0, B_0, C_0 d'équilibre NPK, optimum t_0 d'alimentation globale NPK, tous deux corrélatifs du type souhaité de développement de la plante au moment considéré.

1° *Sur l'équilibre* NPK : l'effet améliorant est mesuré par les rapports :

	Pour l'azote.	Pour l'acide phosphorique.	Pour la potasse.
$\dfrac{\text{Déplacement réalisé}}{\text{Déplacement souhaité}}=$	$\dfrac{X-A}{A_0-A}$,	$\dfrac{Y-B}{B_0-B}$,	$\dfrac{Z-C}{C_0-C}$.

Pour une réussite alimentaire complète, ces trois rapports, qui mesurent le déplacement réalisé en prenant pour unité le déplacement souhaité, seraient égaux à $+1$. En fait, ils sont trouvés positifs ou négatifs et différents de l'unité. Tout rapport négatif indiquera un déplacement de sens contraire à celui du déplacement souhaité; tout rapport positif inférieur à $+1$ indiquera la fraction du déplacement souhaité qu'a réalisée l'engrais; tout rapport positif supérieur à $+1$ indiquera, par sa valeur au-dessus de $+1$, le dépassement au delà du but visé.

2° *Sur l'alimentation globale* NPK : l'effet améliorant a pour expression $(s-t)/(t_0-t)$ avec la même interprétation.

Voici un exemple concret : Vigne aramon sur *Rupestris* ayant reçu pendant six années consécutives 600^{kg} par hectare de K^2O du KCl, seul engrais.

Optimum [2] d'équilibre NPK à toute époque : $A_0=41$, $B_0=8$, $C_0=51$.

Optimum d'alimentation globale NPK au 12 juillet : $t_0=7,63$.

Échantillonnage du 17 juillet 1934.

	x.	y.	z.	s.	X.	Y.	Z.	X — A.	Y — B.	Z — C.
Parcelle fumée.	1,70	0,38	1,80	3,88	43,82	9,79	46,39	— 8,78	—7,34	+16,12
	a.	b.	c.	t.	A.	B.	C.	A_0 — A.	B_0 — B.	C_0 — C.
Parcelle témoin.	1,72	0,56	0,99	3,27	52,60	17,13	30,27	—11,60	—9,13	+20,73

Effet améliorant sur l'équilibre NPK :

$$\frac{X-A}{A_0-A}=\frac{-8,78}{-11,60}=+0,757,\qquad \frac{Y-B}{B_0-B}=\frac{-7,34}{-9,13}=+0,804,$$

$$\frac{Z-C}{C_0-C}=\frac{+16,12}{+20,73}=+0,778.$$

Effet améliorant sur l'alimentation globale NPK :

$$s=3,88,\qquad t=3,27,\qquad s-t=+0,61,\qquad t_0-t=+4,36,$$

$$\frac{s-t}{t_0-t}=\frac{+0,61}{+4,36}=+0,140.$$

Ainsi que l'indiquent les trois signes positifs de l'effet améliorant, la parcelle fumée a bénéficié, le 17 juillet 1934, d'un déplacement très avantageux de l'équilibre NPK pour les trois principes : l'azote éprouvait 75,7 pour 100 de la diminution souhaitée; l'acide phosphorique éprouvait 80,4 pour 100 de la diminution souhaitée; la potasse éprouvait 77,8 pour 100 de l'augmentation souhaitée. Quant à l'alimentation globale NPK, elle n'atteignait que 14 pour 100 de l'augmentation souhaitée.

---

(2) *Comptes rendus Acad. d'Agric.*, **22**, 1936, p. 363.

Remarques. — *a.* Si le témoin manque, on ignore l'effet nutritif; mais on n'est pas complètement désarmé : les grandeurs $A_0 - X$, $B_0 - Y$, $C_0 - Z$ mesurent le chemin qui, pour chaque principe, reste à parcourir avant d'atteindre l'optimum. C'est le cas de la consultation pour suggérer une fumure appropriée chez un propriétaire qui n'a pas constitué de parcelle témoin.

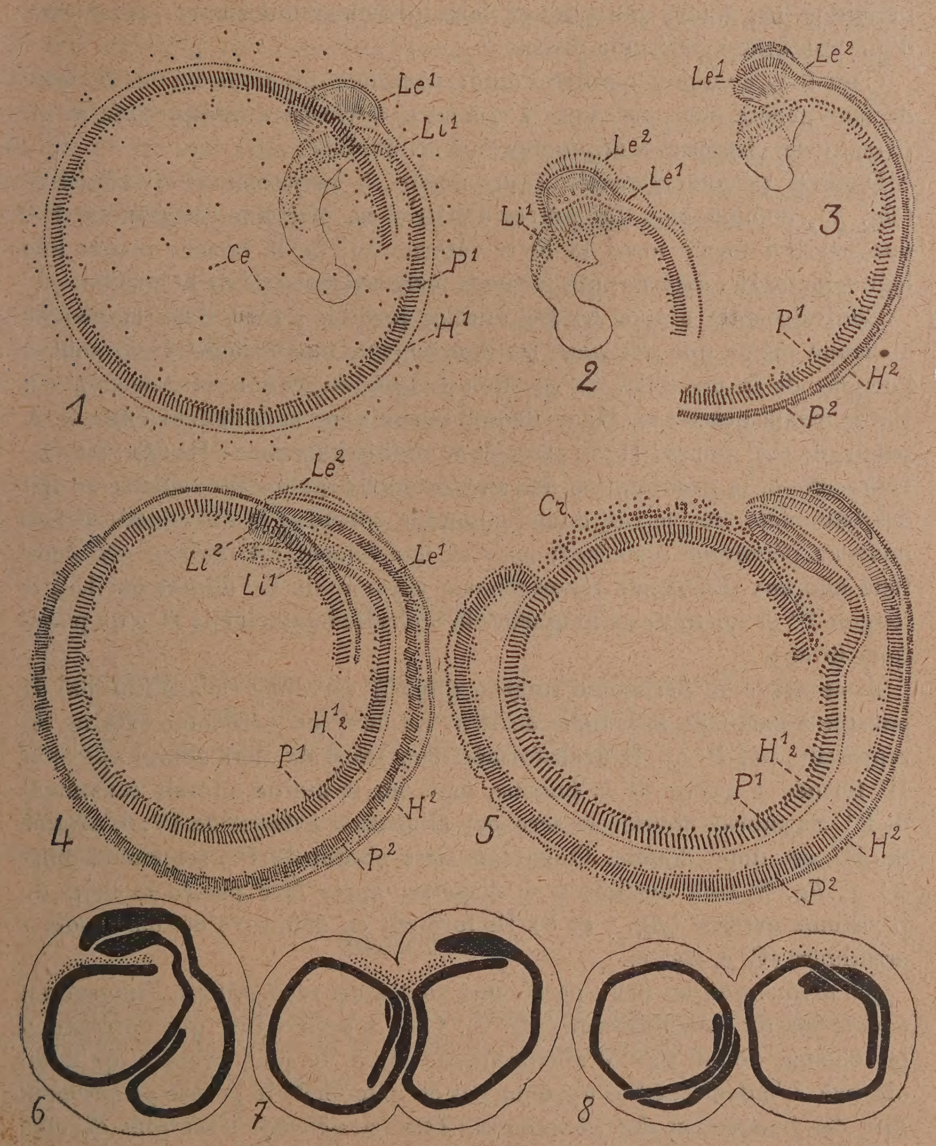
b. Si l'on voulait appliquer les mêmes raisonnements aux résultats de l'analyse de la plante entière, on aurait, outre la difficulté de cette analyse pour les cultures arbustives comme la vigne, l'inconvénient de raisonner, non sur des tests de l'alimentation au moment considéré, mais sur des acquisitions accumulées pendant tout le temps de végétation qui précède ce moment.

c. La méthode s'applique à la mesure de l'influence sur l'alimentation NPK de toute opération technique : labour, irrigation, etc.

PROTISTOLOGIE. — *La division de la bouche et la formation du péristome chez les Péritriches* (Cyclochæta astropectinis n. sp.). *Leur continuité génétique immédiate.* Note de M. **Édouard Chatton** et de M[me] **Simone Villeneuve**.

É. Chatton et A. Lwoff et leurs collaborateurs ont montré que, chez divers infusoires Holotriches, l'ébauche de la nouvelle bouche est toujours en continuité avec la bouche ancienne, soit par l'intermédiaire d'une *cinétie stomatogène* [Apostomes, *Glaucoma*, *Colpidium* (1), Ancistrumidés (2)], soit par l'intermédiaire de la ciliature générale [*Chilodon* (1)]. Simone Villeneuve a mis en évidence une continuité du premier mode chez un Hétérotriche, *Chattonidium setense* (3). Chatton et Seguela montreront d'autre part que, chez les Hypotriches, cette continuité est assurée par les cinétosomes erratiques dispersés sur l'argyrome. Quant aux Péritriches, Wallengren (4) a observé chez les Urcéolaires les stades terminaux de la division où l'on voit deux péristomes déjà complètement formés, concentriques, se dégager l'un de l'autre pour passer sur les

(1) *Arch. Zool. exp.*, 77, 1935, p. 1-433, pl. I-XXI.
(2) *Arch. Zool. exp.*, 78, N. et R., 1936, p. 84-91.
(3) *Arch. Zool. exp.*, 78, 1937, p. 238-242.
(4) *Sart. ur. Fysiograph. Sälls. Handl.*, 8, 1897, p. 1-52, pl. I-II.



Cyclochæta astropectinis, n. sp. Bouche et péristome imprégnés à l'argent (Méthode de Chatton et Lwoff). —Fig. 1. Période interscissiale. — Fig. 2-5. Phénomènes cinétosomiens aboutissant à la division de la bouche et à la formation des deux péristomes × 1600. — Fig. 6-8. Dégagement l'un de l'autre des deux nouveaux péristomes; demi-schématique × 800 (pour les lettres voir le texte).

individus fils, figure qui pouvait faire présumer l'existence, entre eux, d'une continuité génétique directe.

C'est bien ce que démontre l'étude complète que nous venons de faire de leur genèse chez une autre Urcéolaire, *Cyclochæta astropectinis*, *n. sp.* parasite des *Astropecten bispinosus* du Port de Sète.

Dans sa période d'inertie interscissiale, le péristome y est constitué (*fig.* 1), comme chez les autres Péritriches, par une polycinétie P^1, interne, qui forme aussi la lèvre interne Li^1 de la bouche et par une haplocinétie H^1, externe, qui forme la lèvre externe Le^1 de la bouche.

Contrairement à tous les cas étudiés jusqu'ici, c'est dans la bouche ancienne même que débutent les mouvements cinétosomiens qui sont à l'origine de la nouvelle. Le^1 produit Le^2 par élinéation externe (*fig.* 2). Par le même processus, H^1 se dédouble sur toute sa longueur (*fig.* 3). A partir de Le^2 pousse H^2 le long de la moitié adorale de H^1 (*fig.* 3 et 4). Dans celle-ci la prolifération des cinétosomes dans le sens radiaire en fait des bâtonnets très serrés, dont l'ensemble constitue la polycinétie P^2 du nouveau péristome (externe); mais ce mouvement est limité à ses deux tiers adoraux. En même temps pousse à partir de Li^2 élinéée par Li^1, le long de P^1 et sur toute sa longueur, la nouvelle haplocinétie $H^1 2$ du péristome interne.

A ce stade le péristome interne (*fig.* 5) est donc reconstitué par la poussée à partir de la bouche de $H^1 2$. Le nouveau péristome externe est représenté par P^2 ($= H^1$ transformée dans ses deux tiers adoraux) et par H^2 formée à partir de la bouche, mais sur la moitié adorale seulement de P^2. Sa moitié aborale le sera par élinéation externe de P^2. L'origine de H^2 est donc double. Quant au tiers aboral de P^2, ses cinétosomes (C. r, *fig.* 5) sont destinés à se disperser après être passés le long du péristome externe (*fig.* 7 et 8). Ils forment en définitive des cinétosomes erratiques (C. e, *fig.* 1).

Au moment où les deux péristomes sont ainsi reconstitués, l'interne est encore inscrit dans l'externe (*fig.* 5). C'est à cette figure que correspond le schéma, donné par Wallengren, du stade le plus précoce qu'il ait observé. L'auteur suédois n'a donc pas été témoin de la genèse proprement dite des bouches et des péristomes. Tout ce qui suit n'est plus en effet qu'une série, assurément très remarquable et très constante, de mouvements d'ensemble qui aboutissent à la sortie totale du péristome interne de l'externe et à sa mise en position à ses côtés, de sorte que l'un et l'autre sont prêts à passer sur les deux individus fils qui résultent de la scission méridienne de la Cyclochète.

Conclusions. — La stomatogénèse des Péritriches se différencie de celle de tous les autres Ciliés où nous l'avons étudiée par le fait que l'ébauche de la nouvelle bouche est ici en continuité immédiate avec l'ancienne. C'est là une véritable division de la bouche et une division longitudinale partielle du péristome, qui s'accompagne de la régénération de certaines de ses parties. Les Péritriches réalisent donc, parmi les Ciliés, l'exemple de la continuité génétique des formations orales, la plus immédiate que nous connaissions.

Ajoutons que, chez les Holotriches de la famille des Ancistrumidés, le péristome, formé aussi d'une polycinétie et d'une haplocinétie, est d'une structure si semblable à celui des Péritriches qu'on aurait pu penser faire dériver celui-ci de celui-là, en dépit du fait qu'ils sont enroulés l'un dans le sens anthoraire, l'autre dans le sens horaire. Mais leur comportement à la division (étudié chez les Ancistrumidés par Chatton et Lwoff) est si différent qu'une telle tentative serait tout à fait illusoire. A tous égards, les Péritriches restent très isolés dans le groupe des Ciliés.

NOMINATIONS.

M. Charles Gravier est désigné pour représenter l'Académie au *XIIIe Congrès National des Pêches et Industries Maritimes*, qui se tiendra à Paris dans la deuxième quinzaine de septembre 1937.

M. Maurice d'Ocagne est désigné pour représenter l'Académie à la commémoration du *Centième anniversaire* de la mort de René Desgenettes.

ÉLECTIONS.

L'Académie procède par la voie du scrutin à l'élection d'un Associé étranger en remplacement de M. *E. Paterno di Sessa* décédé.

Le nombre de votants étant 44,

M. Simon Flexner	obtient	....	31 suffrages
M. Thomas Hunt Morgan	»	....	3 »
M. Amé Pictet	»	....	3 »
M. William Henry Bragg	»	....	2 »
M. Tullio Levi-Cività	»	....	2 »

Il y a 3 bulletins blancs.

M. **Simon Flexner**, ayant réuni la majorité absolue des suffrages, est proclamé élu.

Son élection sera soumise à l'approbation de M. le Président de la République.

CORRESPONDANCE.

M. le **Ministre de l'Éducation Nationale** invite l'Académie à lui présenter une liste de candidats au poste de *Directeur de l'Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie*, déclaré vacant par arrêté du 16 décembre 1936.

(Renvoi aux Sections d'Astronomie et de Physique générale.)

M. le **Ministre de l'Éducation Nationale** invite l'Académie à lui présenter une liste de deux candidats à chacune des Chaires de *Zoologie* et de *Minéralogie* vacantes au Muséum national d'Histoire naturelle.

(Renvoi à la Section d'Anatomie et Zoologie et à celle de Minéralogie.)

Le **Comité d'organisation** d'une *Séance solennelle* à la mémoire d'Henry Le Chatelier prie l'Académie de vouloir bien accorder son patronage et se faire représenter à la cérémonie, le 24 avril 1937, à la Sorbonne.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Henri Besairie. *Recherches géologiques à Madagascar*. Première suite. *La Géologie du Nord-Ouest.*

2° F. E. Magarinos Torres. *Contribuiçao para o estudo hydrometrico do rio Parahyba do Sul.*

GÉOMÉTRIE. — *Sur deux théorèmes classiques de géométrie conforme.* Note (¹) de M. **René Garnier**.

1. Liouville a montré que le groupe G des transformations conformes de l'espace se réduit à un produit de déplacements, de symétries et d'inver-

(¹) Séance du 1er février 1937.

sions; et d'après un théorème de Lie le groupe G_1 des transformations de contact conservant les bandes de courbure peut être engendré par le produit des transformations de G et des dilatations.

Or, suivant une remarque de G. Darboux, les transformations de G et G_1 peuvent être étudiées très simplement en coordonnées pentasphériques; c'est ainsi que M. É. Borel a décomposé une transformation quelconque de G en un produit de translations, de rotations et d'inversions autour d'un point O. Mais il y a plus, *l'emploi des coordonnées pentasphériques fournit aisément une base réduite pour chacun des groupes* G *et* G_1. Ces bases peuvent s'obtenir sous diverses formes que nous allons indiquer.

2. Considérons le pentaèdre orthogonal formé par les plans S_1 $(x=0)$, $S_2(y=0)$, $S_3(z=0)$ et par les sphères S_4 et S_5, de centre $(0, 0, 0)$ de rayons 1 et $\sqrt{-1}$. En géométrie complexe G admet la base

$$\mathcal{B}=(\mathcal{R}^{\varphi}, \mathcal{S}_2, \mathcal{S}_3, \mathcal{S}_4, \mathcal{S}_5),$$

où $\mathcal{R}^{\varphi}$ est la *rotation* d'amplitude variable φ, réelle ou non, autour de l'axe Oz commun à S_1 et S_2 et où $\mathcal{S}_j (j=2, 3, 4, 5)$ désigne l'une quelconque des *inversions* (planes ou sphériques) qui échangent S_1 et S_j. Ce résultat est la conséquence immédiate de la décomposition récurrente des substitutions orthogonales. Mais $\mathcal{S}_5$ est une transformation imaginaire; il est donc naturel de chercher une base réelle pour G en géométrie réelle. Une analyse plus approfondie montre qu'effectivement, *en géométrie réelle*, G *admet la base réelle*

$$\mathcal{B}'=(\mathcal{R}^{\varphi}, \mathcal{S}_2, \mathcal{S}_3, \mathcal{S}_4, \mathcal{H}_0),$$

où φ est réel et où $\mathcal{H}_0$ *est une homothétie bien déterminée*, de centre O, de rapport réel choisi une fois pour toutes $(\neq \pm 1)$. D'ailleurs, pour φ complexe, $\mathcal{B}'$ constitue encore une base de G en géométrie complexe.

3. Passons à G_1. Comme l'a montré M. É. Borel, l'emploi de la sixième coordonnée pentasphérique conduit tout naturellement à orienter les éléments de contact; soit Γ le groupe des transformations de contact orientées conservant les lignes de courbure. La construction d'une base pour Γ fournit aisément une base pour G_1. Or on montre que Γ admet les bases réduites

$$\mathcal{B}_1=(\mathcal{B}, \mathcal{T}) \quad \text{et} \quad \mathcal{B}'_1=(\mathcal{B}', \mathcal{T}_1),$$

où $\mathcal{T}_1$ *est une transformation par directions réciproques d'Ossian-Bonnet*, admettant S_1 pour plan fondamental. $\mathcal{T}_1$ est imaginaire; mais si l'on définit $\mathcal{T}_5$ à partir de S_5 comme $\mathcal{T}_1$ à partir de S_1, soit

$$\mathcal{T}_5=\mathcal{S}_5\mathcal{T}_1\mathcal{S}_5^{-1}=\mathcal{S}_5\mathcal{T}_1\mathcal{S}_5,$$

$\mathfrak{T}_3$ *sera réelle*. Les ensembles

$$\mathcal{B}_1 = (\mathcal{B}, \mathfrak{T}_3) \quad \text{et} \quad \mathcal{B}'_2 = (\mathcal{B}', \mathfrak{T}_3)$$

constitueront encore des bases réduites pour Γ; et *en géométrie réelle* $\mathcal{B}'_1$ *(avec φ réel) sera une base réduite réelle*. On peut d'ailleurs remplacer $\mathfrak{T}_1$ dans $\mathcal{B}_1$ et $\mathcal{B}'_1$, comme $\mathfrak{T}_3$ dans $\mathcal{B}_2$ et $\mathcal{B}'_2$ par *une dilatation réelle* $\mathcal{D}_0$, *choisie une fois pour toutes*, et réciproque, c'est-à-dire changeant l'orientation des éléments.

On montre que toute transformation de G ou de G_1 peut s'exprimer à l'aide d'un nombre uniformément borné de transformations de $\mathcal{B}$, $\mathcal{B}_1$ ou $\mathcal{B}_2$; mais il n'en est plus de même avec les bases $\mathcal{B}'$, $\mathcal{B}'_1$ ou $\mathcal{B}'_2$.

4. Les résultats précédents justifient une fois de plus le rôle du pentasphère en géométrie conforme. Ils font intervenir l'étude de certains sous-groupes à trois paramètres de G_1 et G_2; ces sous-groupes sont isomorphes au groupe des homographies planes conservant une conique; il est remarquable que par cette voie *la dilatation, comme la transformation d'Ossian-Bonnet et celle plus générale de Laguerre s'introduisent naturellement comme éléments de réduction*. Ajoutons enfin qu'on utilise un cas particulier du théorème suivant : *il n'existe aucune matrice orthogonale du type*

$$\begin{array}{c} \overbrace{\hphantom{+\ldots+}}^{2n-p\ \text{col.}} \quad \overbrace{\hphantom{-\ldots-}}^{p-h\ \text{col.}} \\ \left[\begin{array}{cc} +\ldots+ & -\ldots- \\ \ldots\ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots \\ +\ldots+ & \ldots \\ \ldots & +\ldots+ \\ \ldots\ldots\ldots & \ldots\ldots\ldots \\ \ldots & +\ldots+ \end{array}\right] \end{array} \begin{array}{l} \left.\vphantom{\begin{array}{c} a\\a\\a \end{array}}\right\} p \text{ lignes} \\ \left.\vphantom{\begin{array}{c} a\\a\\a \end{array}}\right\} 2n-p-h \text{ lignes} \end{array}$$

où les lignes + et — désignent respectivement des éléments réels et purement imaginaires, et où h, p, n sont des entiers tels que

$$0 \leq h \leq p < n.$$

Le théorème cesserait d'être exact pour $p = n$.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur certains problèmes à la frontière polygonale non totalement caractéristique pour une classe d'équations aux dérivées partielles d'ordre supérieur*. Note [1] de M. **D. Mangeron**.

1. J'ai étudié par diverses méthodes les problèmes à la frontière d'un rectangle des caractéristiques réelles et multiples d'une classe d'équations

[1] Séance du 15 février 1937.

aux dérivées totales au sens de M. M. Picone d'ordre supérieur (²). Je me propose ici, en me bornant à deux dimensions, de donner les plus simples des résultats que j'ai obtenus en étudiant les problèmes analogues à la frontière des domaines polygonaux non caractéristiques. Les développements paraîtront dans un autre Recueil.

2. Je choisis comme modèle l'équation

$$\frac{\partial^4 u}{\partial x^2\,\partial y^2} = f(x, y), \tag{1}$$

dont la solution générale est

$$u(x, y) = \iint_{00}^{xy} [\alpha(s) + \beta(t)]\, ds\, dt + \gamma(x) + \delta(y) + \iint_{00}^{xy} (x - s)(y - t) f(s, t)\, ds\, dt. \tag{2}$$

Je suppose la fonction $f(x, y)$ continue et définie pour le domaine $R\begin{pmatrix} 0 \leq x \leq c \\ 0 \leq y \leq d \end{pmatrix}$. Je trouve pour la solution de l'équation (1), s'annulant à la frontière FP d'un domaine quadrilatère P contenu dans R et limité par les côtés d'équations $y = 0$, $y = d$, $y = mx$, $x = c$,

$$u(x, y) = \iint_{R} G(x, y; s, t) f(s, t)\, ds\, dt, \tag{3}$$

où

$$\left(c - \frac{y}{m}\right) d\, G(x, y; s, t) \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
&= 0, && \text{pour } 0 \leq s \leq \frac{y}{m}, \quad 0 \leq t \leq y;\\
&= \left(s - \frac{y}{m}\right)(d - y)(c - x)t, && \text{»} \quad \frac{y}{m} \leq s \leq x, \quad 0 \leq t \leq y;\\
&= \left(x - \frac{y}{m}\right)(d - y)(c - s)t, && \text{»} \quad x \leq s \leq c, \quad 0 \leq t \leq y;\\
&= \left(x - \frac{y}{m}\right)(d - t)(c - s)y, && \text{»} \quad x \leq s \leq c, \quad y \leq t \leq d;\\
&= \left(s - \frac{y}{m}\right)(d - t)(c - x)y, && \text{»} \quad \frac{y}{m} \leq s \leq x, \quad y \leq t \leq d;\\
&= 0, && \text{»} \quad 0 \leq s \leq \frac{y}{m}, \quad y \leq t \leq d.
\end{aligned}$$

Ainsi le système différentiel formé d'une équation avec un paramètre λ,

---

(²) *Rend. R. Accad. Sc. Fis. e. Matem.*, Napoli, 4ᵉ série, 2, 1932, p. 29.

qui généralise habituellement (1) et les conditions données à la frontière, se transforme en une équation intégrale à laquelle on peut utilement appliquer des théorèmes classiques, surtout si l'on observe certaines propriétés du noyau $G(x, y; s, t)$.

Le même problème, pour le contour formé par les droites d'équations $x = c$, $y = d$, $y = m_1 x$, $y = m_2 x$, $m_1 > m_2 > 0$, en conservant naturellement la continuité nécessaire pour les solutions, me conduit, par exemple, pour la fonction inconnue $\delta(y)$ de (2) à l'équation suivante :

$$
\begin{aligned}
(5)\quad & m_1\left(c - \frac{y}{m_1}\right)\left(d - \frac{m_2 y}{m_1}\right)\delta(y) \\
& = m_1\left(c - \frac{y}{m_1}\right)(d - y)\,\delta\left(\frac{m_2 y}{m_1}\right) + (m_2 - m_1)\left(c - \frac{y}{m_1}\right) y(d - y)\gamma(0) \\
& \quad + \left(\frac{m_2}{m_1} - 1\right) y^2 (d - y)\left[\gamma(c) + \delta(0) + \iint_R (c - s)(d - t) f(s, t)\, ds\, dt\right] \\
& \quad - c(m_2 - m_1) y(d - y) \iint_{00}^{\frac{y}{m_2} d} \left(\frac{y}{m_1} - s\right)(d - t) f(s, t)\, ds\, dt \\
& \quad + y\left(d - \frac{m_2 y}{m_1}\right) \iint_{00}^{cy} (c - s)(y - t) f(s, t)\, ds\, dt \\
& \quad - c m_1 \left(d - \frac{m_2 y}{m_1}\right) \iint_{00}^{\frac{y}{m_1} y} \left(\frac{y}{m_1} - s\right)(y - t) f(s, t)\, ds\, dt \\
& \quad - y(d - y) \iint_{00}^{c \frac{m_2 y}{m_1}} (c - s)\left(\frac{m_2 y}{m_1} - t\right) f(s, t)\, ds\, dt \\
& \quad + c m_1 (d - y) \iint_{00}^{\frac{y}{m_1} \frac{m_2 y}{m_1}} \left(\frac{y}{m_1} - s\right)\left(\frac{m_2 y}{m_1} - t\right) f(s, t)\, ds\, dt.
\end{aligned}
$$

Or celle-ci est une équation fonctionnelle de M. E. Picard [3], les fonctions qui y entrent satisfaisant à toutes les suppositions nécessaires pour lui assurer la convergence et l'unicité de la solution. On détermine les autres fonctions inconnues sans autre difficulté. Les constantes arbitraires disparaissent de la solution.

En particulier, pour $f(x, y) \equiv 1$ dans R, la solution est donnée encore sous la forme (3) où $G_1(x, y; s, t)$ est un noyau analogue à $G(x, y; s, t)$.

3. On peut étendre ces résultats aux équations de même ordre linéaires

---

[3] *Comptes rendus*, 144, 1909, p. 1009.

plus compliquées ou de même forme mais d'ordre plus élevé (4). On peut considérer des conditions plus générales à la frontière et choisir des contours polygonaux plus compliqués. Ces études se rattachent au problème de M. Picard étudié, entre autres, pour les équations hyperboliques par M. A. Myller (5).

On peut former, suivant M. C. Popovici, à côté de la solution continue de l'équation (5), d'autres solutions qui ont pour $y = 0$ une singularité que l'on peut dire essentielle. Le théorème d'unicité disparaît (6).

Il serait intéressant de préciser quelles sont les conditions supplémentaires pour assurer l'unicité de la solution lorsque les côtés non caractéristiques du contour de P ne se trouvent pas dans l'angle même des caractéristiques de systèmes divers.

HYDRODYNAMIQUE EXPÉRIMENTALE. — *Tourbillons thermoconvectifs alternés en couche mince.* Note (1) de M. **M. Luntz**, présentée par M. Henri Villat.

On a souvent observé des configurations tourbillonnaires, de forme dentelée, se formant sur les bords inclinés de récipients contenant un liquide chaud. Plongeons une plaque de verre froid dans un récipient contenant de la paraffine fondue. Le liquide monte par capillarité le long de cette plaque et nous observons (*fig.* 1 et 2) la formation d'une série de

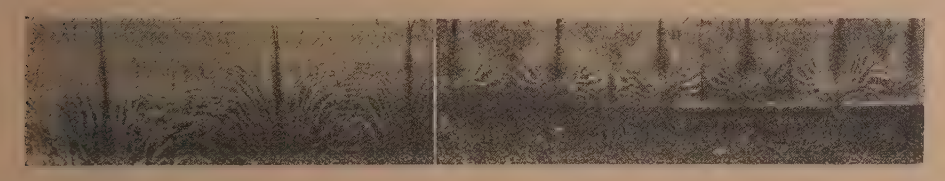


Fig. 1. Fig. 2.

tourbillons contigus, à contour sensiblement rectangulaire, et dont les axes sont perpendiculaires à la couche du liquide.

Ce mouvement tourbillonnaire fait partie d'une catégorie très vaste de mouvements convectifs (thermo- et électro-), où le fluide est compris entre

(4) *Comptes rendus*, 204, 1937, p. 94.

(5) *Math. Annalen*, 68, 1907, p. 75.

(6) V. Volterra et J. Pérès, *Théorie générale des fonctionnelles*, Paris, 1936, p. 210.

(1) Séance du 15 février 1937.

deux surfaces planes et parallèles et où le transport par convection de la grandeur physique (chaleur ou électricité) se fait parallèlement aux parois planes.

Je me suis approché des conditions idéales, en opérant de la manière suivante. Le liquide (huile industrielle) est compris dans une cuve dont les parois latérales sont constituées par deux glaces parallèles et verticales distantes de 15^{mm}. La partie inférieure du récipient contient de l'eau chaude. L'huile est donc limitée latéralement par les deux glaces, par l'eau chaude en bas et par sa surface libre, qui est à la température de l'air ambiant, en haut. La hauteur de la couche d'huile est de 10^{cm}, sa longeur de 50^{cm}, son épaisseur de 1^{cm},5. L'échange de chaleur s'effectue du bas en haut.

Nous observons alors (*fig.* 3) une division nette et régulière du liquide en

Air froid.



Eau chaude.

Fig. 3.

rectangles, chaque rectangle comportant un noyau tourbillonnaire d'étendue finie. (La distance de deux parois en verre est telle qu'il est impossible d'attribuer ce phénomène à la capillarité, comme on le faisait souvent, en décrivant le mouvement représenté sur les figures 1 et 2).

La faible épaisseur de la nappe et la grande viscosité de l'huile permettent d'assimiler l'écoulement dans le plan vertical médian à un mouvement d'un fluide parfait (cas de Stokes et de Hele Shaw). Alors les conditions aux limites deviennent celles d'un canal à bords rectilignes et parallèles et le mouvement observé doit être rapproché des tourbillons alternés dans un canal. Il est bien entendu que les causes ayant provoqué le mouvement (déplacement de l'obstacle dans le cas des tourbillons de Bénard-Karman et mouvement de convection dans notre cas) ne peuvent pas être confondues.

Le cas de tourbillons alternés *ponctuels* dans un canal est bien connu. Le rapport de la largeur de la rue des tourbillons à leur équidistance, calculé par Rosenhead [2], ne correspond pas, bien entendu, à la valeur *nulle* de ce

[2] *Phil. Trans. of the Roy. Soc. of London*, A, 288, 1929, p. 275.

rapport dans le cas de nos expériences. La photographie 3 montre, en effet, que la rue des tourbillons est ici réduite à une file unique. Il semble donc, qu'il convient de compléter les théories des tourbillons alternés, en les appliquant aux tourbillons d'étendue finie.

Les tourbillons thermoconvectifs alternés sont extrêmement stables, il est possible de rendre le mouvement permanent pendant des heures. Les vitesses observées sont généralement très faibles. (Dans le cas de la figure 3 elles sont, en moyenne, de 1 mm/sec pour une différence de température de 20° C. entre les bords supérieur et inférieur de la couche.) Les vitesses les plus grandes existent le long des lignes verticales séparant les tourbillons voisins, les vitesses les plus faibles dans le voisinage des noyaux des tourbillons.

La variation de l'épaisseur de la nappe n'influe pas sur la forme géométrique de l'écoulement, pourvu que la hauteur de la nappe soit grande par rapport à son épaisseur. Lorsque l'épaisseur devient comparable à la hauteur, les tourbillons alternés peuvent se transformer en tourbillons à axes parallèles aux bords (genre des tourbillons en bandes). Cette transformation est amorcée sur les figures 1 et 2, où la partie basse de la couche capillaire est relativement épaisse.

MÉCANIQUE DES FLUIDES. — *Les tourbillons thermoconvectifs en couches superposées.* Note de M. **Douchan Avsec**, présentée par M. Henri Villat.

Une couche de fluide, chauffée par en dessous, se compartimente en cellules. Chaque cellule, dont la dimension suivant la verticale est définie par l'épaisseur de cette couche, est le siège d'un mouvement tourbillonnaire, d'ailleurs bien connu.

Lord Rayleigh (1) a donné le premier l'analyse approximative de ce genre de mouvements. A. R. Low (2) a repris cette théorie et a trouvé qu'à côté de la solution simple, admettant un seul étage de cellules, existaient des solutions multiples qui correspondraient à des nombres d'étages supérieurs à un. Il a effectué les calculs et les dessins des lignes de courant pour

(1) *Phil. Mag.*, 32, 1916, p. 529-546.

(2) *Proc. of the 3rd Intern. Congr. for Applied Mechanics*, 1, Stockholm, août 1930, p. 109.

les cas de tourbillons convectifs à un seul étage, à deux, à trois et à quatre étages.

M. Henri Bénard a déjà fait remarquer, dans son Cours, que les solutions de Low à circuits multiples empilés n'ont jamais été signalées par les météorologistes dans l'atmosphère, non plus d'ailleurs que dans les recherches de laboratoire.

En vue de confirmer ou d'infirmer la valeur pratique de ce résultat théorique, j'ai procédé aux expériences nécessaires.

Une cuve plate ([3]), en position verticale, est constituée par deux plaques de glace; les deux côtés latéraux, ainsi que le fond et le plafond, sont hermétiquement fermés. On verse au fond de la cuve une hauteur de quelques centimètres d'eau chaude, constituant la source chauffante. Une couche mince d'huile empêche l'évaporation. Ensuite, on laisse couler de la fumée de tabac en quantité telle qu'elle remplisse la moitié inférieure de la cuve.

La couche de fumée de tabac reste quelque temps nettement séparée de la couche supérieure, constituée par l'air pur. On observe facilement que dans la couche enfumée les tourbillons thermoconvectifs s'établissent. Un filament fin de fumée indique que des tourbillons, superposés aux précédents, se sont aussi formés dans la couche supérieure.

Après établissement des courants tourbillonnaires en deux étages, la surface de séparation est très ondulée. Cela prouve que cette formation est peu stable, même s'il ne s'agit que de deux étages et malgré le fait qu'on utilise deux gaz dont les densités diffèrent assez largement. La réalisation des courants convectifs à plusieurs étages serait, dans le cas des gaz, très délicate. Au contraire, aucune difficulté ne se présente si l'on opère avec des liquides différents qui ne se mélangent pas.

En somme, pour que les courants tourbillonnaires superposés puissent naître, il faut que les couches empilées soient suffisamment hétérogènes, et, par conséquent, on ne peut jamais espérer que des mouvements à deux ou même à plusieurs étages puissent s'établir pratiquement dans une couche constituée par le même fluide homogène. Donc le résultat de A. R. Low reste, au moins pour le cas thermique, d'un intérêt purement mathématique.

Le même dispositif qui a servi aux expériences précédentes, peut être

---

([3]) La même cuve a servi à des expériences de M. Luntz. Voir *Comptes rendus*, 204, 1937, p. 547.

utilisé pour rendre visible le mécanisme de l'apparition des courants convectifs, parce que la couche fluide, contenue entre deux faces de la cuve, peut être considérée comme une coupe transversale de tourbillons en bandes, perpendiculaires aux faces.



Fig. 1.



Fig. 2.

J'avais donné ([1]) des projections photographiées de tourbillons en bandes, et dessiné seulement les coupes. J'ajoute ici deux photographies de coupes.

La figure 1 représente l'apparition des tourbillons de convection, quelques instants après l'introduction d'une petite quantité de fumée de tabac (une quantité plus grande donnerait lieu à la formation des tourbillons à deux étages, décrits dans la première partie de cette Note). Les courants ascendants oscillent un peu et cherchent la position stable.

La figure 2, prise quelques minutes après, représente un stade plus stabilisé. La fumée a entièrement diffusé dans les cellules. Leurs sections sont parfaitement rectangulaires.

En quinze minutes, par exemple, les cellules deviennent complètement égales à l'œil; la photographie d'ailleurs en devient de moins en moins aisée.

([1]) *Comptes rendus*, 203, 1936, p. 556.

AÉRODYNAMIQUE. — *Sur les courbes enveloppes du rendement pour les hélices propulsives optima.* Note [1] de MM. **Albert Toussaint** et **Simon Strijevsky**, présentée par M. Henri Villat.

On sait qu'une hélice propulsive de rayon R, avec p pales est *équivalente*, pour un paramètre de fonctionnement : $\lambda = V/\pi n D = V/\Omega R$, à une hélice *fictive à nombre infini de pales*, dont le rayon $R_1 < R$ est donné par la formule de Prandtl :

$$R_1 = \frac{R}{\xi} = R\left(1 - \frac{1,386}{p}\,\frac{\lambda}{\sqrt{1+\lambda^2}}\right). \tag{1}$$

Pour les hélices fictives équivalentes la loi optimum de distribution de la circulation Γ s'obtient en écrivant que, pour toute variation $\Delta\Gamma$, on réalise la constance du rapport A, des variations corrélatives de la perte d'énergie locale et du travail utile local.

On trouve ainsi la loi

$$\Gamma = \frac{2\pi V^2}{p\Omega}\left[A\,\frac{\Omega^2 r_1^2}{V^2+\Omega^2 r_1^2} - \varepsilon\,\frac{\Omega r_1}{V}\right], \tag{2}$$

dans laquelle ε est la finesse aérodynamique des profils de pales aux mêmes rayons relatifs $r_1/R_1 = r/R$. L'évolution usuelle des formes de profils de pales des hélices aéronautiques nous permet d'écrire

$$\varepsilon = k\,\frac{R}{r} = k\,\frac{R_1}{r_1} \quad (k = \text{const.}). \tag{3}$$

Ainsi $k = 0,015$ à $0,017$ avec les pales métalliques actuelles.

En portant les expressions (2) et (3) dans les équations classiques de la théorie tourbillonnaire on obtient après intégration la traction globale T et le couple global Q. Les coefficients correspondants sont

$$\chi = \frac{\Omega Q}{\rho n^3 D^5} = \frac{\pi^4\lambda^3}{4\xi^2}\left[\frac{A^2}{2}(F_1+F) + AF - \frac{k}{\lambda_1}\right], \tag{4}$$

$$\tau = \frac{T}{\rho n^2 D^4} = \frac{\pi^3\lambda^2}{4\xi^2}\left(\frac{A^2}{2}F + AF - \frac{k}{\lambda_1}\right); \tag{5}$$

$$\lambda_1 = \frac{V}{\Omega R_1}; \qquad F = 1 - \lambda_1^2\,L\,\frac{1+\lambda_1^2}{\lambda_1^2}; \qquad F_1 = \left(F - \frac{1}{1+\lambda_1^2}\right)\left(1 + \frac{k}{\lambda_1}\right). \tag{6}$$

---

[1] Séance du 15 février 1937.

On voit que τ et χ sont liés par la relation

$$(7) \qquad \chi = \pi\lambda\tau + \frac{\pi^4\lambda^3}{8\xi^2}A^2F.$$

Le rendement propulsif global est par suite

$$(8) \qquad \eta = \frac{\tau}{\chi}\pi\lambda = 1 - \frac{\pi^4\lambda^3}{8\xi^2}\frac{A^2F}{\chi} = 1 - \frac{A^2F}{A^2(F_1+F)+2AF-2k/\lambda_1}.$$

Les courbes enveloppes du rendement pour les hélices propulsives optima seront données par la condition

$$(9) \qquad \frac{\partial}{\partial A}\left[\frac{A^2F}{A^2(F_1+F)+2AF-2k/\lambda_1}\right] = 0,$$

ce qui donne successivement

$$(10) \qquad A_{(E)} = \frac{2k}{\lambda_1 F}; \qquad \eta_{(E)} = 1 - \frac{2kF}{2k(F_1+F)+\lambda_1F^2},$$

$$(11) \qquad \chi_{(E)} = \frac{\pi^4\lambda k}{4\xi^4F^2}[2k(F_1+F)+\lambda_1F^2]; \qquad \tau_{(E)} = \frac{\pi^3 k}{4\xi^4F^2}(2kF+\lambda_1F^2).$$

Nous avons calculé et représenté sur le graphique ci-dessous les courbes, $\eta_{(E)}$, $\chi_{(E)}$ et $\tau_{(E)}$ pour des familles d'hélices bipales et quadripales comportant $k = 0,017$.

Nous devons faire remarquer que les valeurs du coefficient de puissance $\chi_{(E)}$ imposées pour être sur les enveloppes théoriques optima $\eta_{(E)}$, conduisent à des diamètres fréquemment prohibitifs pour les réalisations pratiques. Des calculs analogues faits avec des lois χ et A notablement différentes nous ont montré que les familles d'hélices correspondantes fournissent des enveloppes du rendement différant extrêmement peu des courbes optima. Ces hélices sont alors dimensionnées comme les hélices actuellement utilisées en aviation.

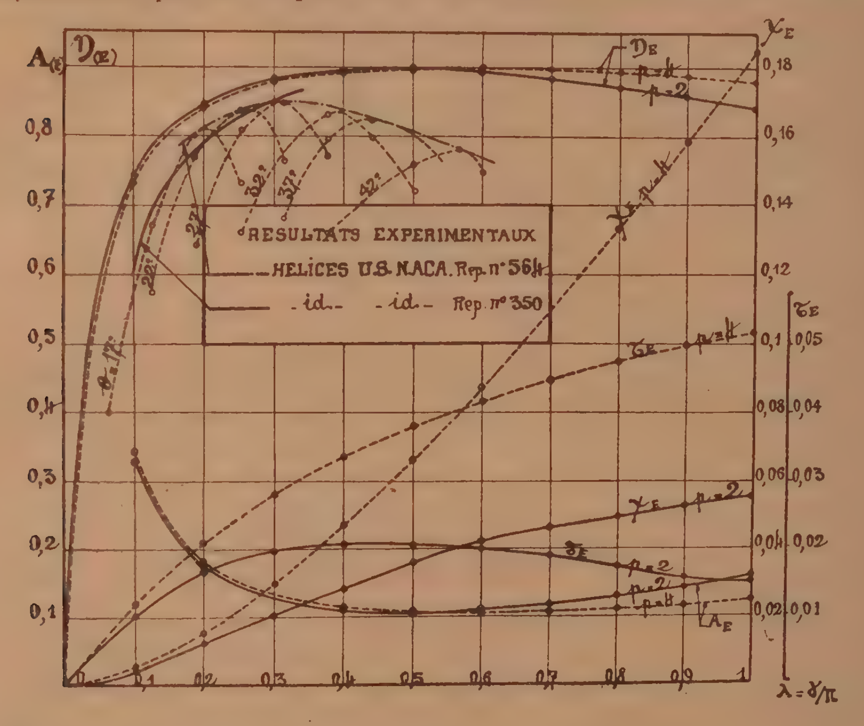
Sur ce graphique nous avons représenté en outre, les résultats obtenus dans la soufflerie spéciale de l'U. S. Naca [2] pour une famille d'hélices métalliques bipales, expérimentées en présence : 1° d'un ensemble comprenant une nacelle motrice et une aile sustentatrice (report n° 564); 2° de divers fuselages complets de grandeur réelle (report n° 350).

On voit que, dans un domaine compris entre $\lambda = 0,15$ et $\lambda = 0,35$, les

---

[2] *The Twenty-foot Propeller Research Tunnel of the National Advisory Committee for Aeronautics*. Weick and Wood, report n° 300, 1928.

courbes enveloppes expérimentales s'accordent avec les courbes η_E calculées à 2 ou 3 pour 100 près par défaut. Nous pensons que cet écart est imputable en partie à la présence des obstacles variés situés en aval des



hélices expérimentées et en partie du fait que ces dernières ne sont pas tracées suivant les règles de nos calculs.

D'ailleurs, en deçà et au delà du domaine précédent, l'écart s'accentue. Nous pensons que, pour les hélices indiquées 32°, 37° et 42° dans le report n° 564, la distribution du pas et de la circulation s'écarte de plus en plus des conditions optima.

AÉRODYNAMIQUE. — *Écoulement de l'air dans le plan de rotation d'une hélice sustentatrice.* Note (¹) de M. **Svetopolk Pivko**, présentée par M. Henri Villat.

Les théories actuelles relatives à l'hélice aérienne sont basées sur la considération des vitesses axiales et tangentielles *moyennes* de l'air en arrière

(¹) Séance du 15 février 1937.

de l'hélice et dans le plan de rotation. On néglige les vitesses radiales qui prennent naissance au voisinage immédiat de l'hélice ainsi que l'effet de la périodicité de l'écoulement de l'air autour de l'hélice.

L'expérience montre qu'une telle conception peut être admise, sans erreur sensible, pour une hélice à grand nombre de pales et avec la petite valeur du rapport : traction de l'hélice-surface du cercle balayé par l'hélice. Les hélices sustentatrices sont caractérisées, comme l'on sait, par une grande valeur de la traction et nous estimons que le fait de négliger les vitesses radiales constitue une approximation insuffisante. Si l'on tient compte des vitesses radiales, la vitesse locale dans le plan de rotation sera modifiée, ce qui entraîne une modification de la circulation autour de la pale de l'hélice et, finalement, une modification de la forme géométrique de la pale de l'hélice.

Le problème consiste ainsi en la détermination d'un coefficient de correction à appliquer à la circulation, pour tenir compte des vitesses radiales. Le but de la présente Note est de mettre en évidence une représentation très simple de l'écoulement relatif de l'air dans le plan de rotation d'une hélice sustentatrice, ayant les mêmes particularités que l'écoulement réel.

On sait que la masse d'air qui entre dans le plan de l'hélice en mouvement se trouve animée brusquement d'un mouvement de rotation. Supposons que l'air remplit complètement l'espace entre les pales. Dans cette hypothèse, l'écoulement relatif dans le plan de rotation d'une hélice tripale peut être schématisé de la façon indiquée par la figure 1.

On peut distinguer deux régions nettement séparées l'une de l'autre par le cercle de rayon b, où la composante radiale s'annule. Dans une première approximation, la masse d'air qui s'écoule entre les rayons r et $r+dr$, est proportionnelle à la vitesse locale $r\omega$; ω étant la vitesse angulaire de l'hélice. On peut admettre, par suite, que toute masse d'air se divise en deux parties égales, en arrivant à la pale, ce qui donne l'égalité

$$\rho b \frac{b\omega}{2} = \rho(\mathrm{R}-b)\frac{\mathrm{R}+b}{2}\omega.$$

De là

$$b = \frac{\mathrm{R}}{\sqrt{2}} \approx 0,7\mathrm{R},$$

ce qui coïncide complètement avec les expériences effectuées par M. Valensi [2].

---

(2) VALENSI, *Publ. Sc. et Techn. du Min. de l'Air*, n° 73, Paris, 1935, p. 61.

La section au voisinage de l'axe, contenue à l'intérieur du cercle de rayon a, ne contribue pas à la traction et elle peut être négligée. Par suite, on transforme préférablement l'écoulement représenté par la figure 1 en

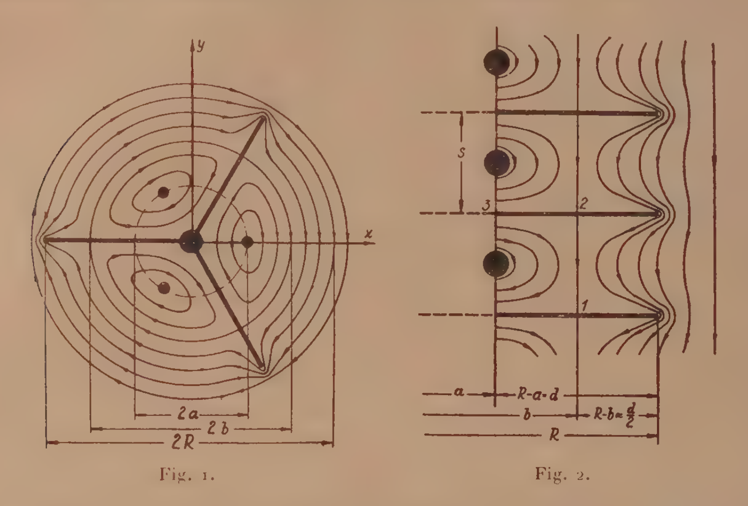


Fig. 1. Fig. 2.

celui de la figure 2. Les domaines à droite et à gauche de la droite 1-2 de séparation peuvent être traités séparément et la recherche de la valeur moyenne de la composante verticale (tangentielle) d'un tel écoulement, en fonction du rayon, ne présente plus de difficultés.

MÉCANIQUE APPLIQUÉE. — *Sur l'alimentation d'un moteur à combustion isobare*. Note de M. **René Retel**, présentée par M. Émile Jouguet.

J'ai signalé [1], un des premiers, je crois, que, pour réaliser dans un moteur Diesel une combustion à pression constante à partir du point mort, l'apport de chaleur devait être, à partir de ce point, et en supposant négligeables les pertes par les parois, proportionnel à l'augmentation de volume de la chambre consécutive au déplacement du piston. J'ai indiqué que cette loi est celle qui devrait régir l'introduction du combustible dans la chambre à partir du point mort si la combustion suivait instantanément l'injection.

---

(1) *Conservatoire des Arts et Métiers*, 3 mars 1935; *Société des Ingénieurs de l'Automobile*, 8, 1935, p. 406.

J'ai montré d'autre part que l'angle total d'introduction du combustible restait voisin de 35°, et cela quel que soit le taux de compression adopté pour le moteur.

M. Dumanois, développant les mêmes conclusions ([2]), a indiqué que ces conditions théoriques pouvaient être réalisées à l'aide d'un système d'alimentation injectant le combustible suivant la loi indiquée ci-dessus et comportant un injecteur dont l'orifice présenterait une section croissant proportionnellement à la vitesse du moteur, de manière à maintenir constante la vitesse du jet et par suite la pulvérisation.

Ainsi présentées, les conditions indiquées ci-dessus pourraient donner lieu à des conclusions erronées.

En effet, soient : R le rayon de la manivelle du moteur, θ l'angle de rotation de la manivelle compté à partir du point mort, q la quantité de combustible introduite depuis le point mort, K un symbole de proportionnalité.

L'augmentation de volume de la chambre ΔV est, en négligeant l'inclinaison de la bielle,

$$\Delta V = K R(1 - \cos\theta).$$

La loi d'introduction du combustible est donc

$$q = K \Delta V,$$

que l'on peut écrire avec une approximation suffisante

(I) $$q = K\theta^2.$$

D'autre part, en appelant v la vitesse du jet à la sortie de la tuyère d'injection, σ la section correspondante de la tuyère, t le temps écoulé depuis le passage de la manivelle au point mort, ω la vitesse du moteur, on a à chaque instant

(a) $$q = v\sigma t = v\sigma\frac{\theta}{\omega},$$

d'où, pour

(II) $$v = \text{const.},$$

(III) $$\sigma = K\theta\omega.$$

On voit donc que la section de l'orifice d'injection ne varie pas seulement

([2]) *Comptes rendus*, **202**, 1936, p. 1409.

de façon proportionnelle à la vitesse du moteur mais qu'elle varie également, au cours même de l'injection, proportionnellement à l'angle θ.

Cette remarque est nécessaire, car, si la section de l'orifice variait seulement de façon proportionnelle à ω, la vitesse v serait proportionnelle à θ, elle serait par suite infiniment petite au voisinage du point mort et il n'y aurait pas de pulvérisation.

Le système d'alimentation est donc défini par les relations

$$\text{(I)}\quad q = k\theta^2, \qquad \text{(II)}\quad v = cst, \qquad \text{(III)}\quad \sigma = k\theta\omega.$$

Mais il importe de remarquer que, si l'on tient compte de la relation mathématique (a), toujours satisfaite, il suffit que deux quelconques de ces conditions soient satisfaites pour que la troisième le soit également.

On pourra donc pratiquement réaliser un tel système en satisfaisant seulement à deux des relations ci-dessus.

On pourra par exemple :

1° Adopter une pompe à came de profil convenable et la combiner avec un injecteur dont on fasse mécaniquement varier la section suivant la loi (III).

2° Utiliser la même pompe en l'associant à un injecteur dont l'orifice, obturé par une aiguille chargée d'un ressort suffisamment élastique, découvre automatiquement une section telle que la pression d'injection reste constante, ce qui satisfait évidemment la condition (II).

3° On pourra également se servir d'un injecteur dont l'orifice variera mécaniquement suivant la loi (III) et il suffira dans ce cas d'alimenter cet injecteur à la pression fixée.

MÉCANIQUE ONDULATOIRE. — *Sur le passage des corpuscules à travers des barrières de potentiel.* Note de M. **Assène Datzeff**, présentée par M. Louis de Broglie.

Nous nous bornerons au cas de mouvements à une seule dimension suivant l'axe Ox. La barrière est représentée entre les points x_0 et x' par la courbe potentielle $U(x)$. Divisons l'intervalle x_0x' en n parties, et menons par les points de division d'abscisses x_1, x_2, ..., $x_n = x'$ les perpendiculaires à Ox. La barrière est divisée en n barrières successives rectangulaires, la $k^{\text{ième}}$ de base $x_k - x_{k-1}$ et de hauteur $U(x_{k-1})$. La courbe continue U est remplacée par une ligne brisée (escalier), inscrite dans U.

Dans chaque barrière rectangulaire l'équation de Schrödinger admet comme solution Ψ une combinaison linéaire de deux ondes planes monochromatiques, se propageant à droite et à gauche, d'amplitudes correspondantes A et B. En exprimant que l'onde Ψ et sa dérivée première sont continues à la limite de chacune des deux barrières voisines, on arrive à deux équations entre les amplitudes A_k, B_k et A_{k+1}, B_{k+1} [1] :

$$(1)\quad \begin{cases} A_k e^{-iy_k x_k} + B_k e^{iy_k x_k} = A_{k+1} e^{-iy_{k+1} x_k} + B_{k+1} e^{iy_{k+1} x_k}, \\ y_k (A_k e^{-iy_k x_k} - B_k e^{iy_k x_k}) = y_{k+1} (A_{k+1} e^{-iy_{k+1} x_k} - B_{k+1} e^{iy_{k+1} x_k}). \end{cases}$$

avec $y = 2\pi/h\sqrt{2m(E-U)}$ $(k = 0, 1, \ldots, n)$, E, l'énergie du corpuscule incident. Des équations (1) pour $k = 0$ on tire les valeurs de A_1, B_1 en fonction de A_0, B_0 et on les porte dans (1) pour $k = 1$. On trouve deux équations linéaires entre A_0, B_0 et A_2, B_2, d'où l'on tire A_2, B_2 en fonction de A_0, B_0, etc. Donc on arrivera à deux équations entre A_0, B_0 et A_n, l'amplitude de l'onde transmise. Les équations (1) montrent que l'on peut considérer A_k et B_k comme les composantes d'un vecteur $\vec{a}_k$, A_{k+1} et B_{k+1} composantes d'un vecteur $\vec{a}_{k+1}$, etc. On passe du vecteur $\vec{a}_k$ au vecteur $\vec{a}_{k+1}$ en multipliant $\vec{a}_k$ par une matrice M_k à deux lignes et à deux colonnes. Si l'on résout (1) et si l'on se borne aux infiniment petits du premier ordre Δy, on donne à M_k la forme suivante :

$$(2)\quad M_k = \begin{vmatrix} e^{i\Delta y_k x_k - \frac{\Delta y_k}{2y_k}} & \frac{\Delta y_k}{2y_k} e^{2iy_k x_k} \\ \frac{\Delta y_k}{2y_k} e^{-2iy_k x_k} & e^{-i\Delta y_k x_k - \frac{\Delta y_k}{2y_k}} \end{vmatrix}.$$

On voit facilement que les éliminations successives des vecteurs $\vec{a}_k$ de (1) conduisent à la relation vectorielle

$$(3)\quad \vec{a}_n = M\vec{a}_0,$$

où les composantes de $\vec{a}_n$ sont A_n et A_n, et

$$M = |m_{\alpha\beta}| = M_n M_{n-1} \ldots M_2 M_1 \quad (\alpha, \beta = 1, 2).$$

Dans chaque terme $m_{\alpha\beta}$ on groupe les termes qui contiennent un facteur Δy, ceux à deux facteurs Δy, etc. Quand $n \to \infty$, les sommes en Δy_k, $\Delta y_k \Delta y_l$, … se

(1) L. de Broglie, *Ann. de l'Inst. Henri Poincaré*, 3, 1933, p. 349.

transforment en intégrales définies. m_{11} et m_{22} sont des sommes des termes qui contiennent un nombre pair de facteurs Δy, m_{12} et m_{21} — un nombre impair de Δy. Si nous désignons par $m_{11}^{2p,n}$ ce terme de m_{11} qui contient $2p$ facteurs Δy $\left(\text{donc } m_{11} = \sum_{p=1}^{n} m_{11}^{2p,n}\right)$ on trouve la formule de récurrence

$$(4)\qquad m_{11}^{2p,n} = e^{i\Delta y_n x_n \frac{\Delta y_n}{2 y_n}} m_{11}^{2p,n-1} + \frac{\Delta y_n}{2 y_n} e^{2iy_n x_n} m_{12}^{2p-1,n-1},$$

et encore trois formules analogues pour m_{12}, m_{21} et m_{22}. En utilisant successivement la formule (4) pour les m dans la partie droite de (4) on arrive à une somme dont les termes contiennent $2k$ facteurs Δy. Quand n tend vers l'infini, cette somme se transforme en une intégrale $2k$-uple. Donc chaque $m_{\alpha\beta}$ est une somme infinie de termes, représentant des intégrales définies. On démontre la convergence absolue de ces sommes, en remplaçant tout Δy_k par le plus grand Δy entre eux. Les séries ainsi trouvées représentent le développement d'un binome dont la valeur est finie. On démontre aussi que l'erreur que l'on fait en remplaçant la courbe U par la ligne brisée, tend vers o quand $n \to \infty$. Quand l'approximation de l'optique géométrique est valable, on peut s'arrêter aux termes $m_{11}^{0,n}$ et $m_{22}^{0,n}$, et l'on a le résultat que l'on trouve par la méthode Brillouin-Wentzel.

La matrice M calculée (3) donne deux relations entre A_0, B_0, A_n, et l'on peut exprimer l'amplitude de l'onde réfléchie B_0 et l'amplitude de l'onde transmise A_n en fonction de l'amplitude de l'onde incidente A_0. Donc on aura la proportion des corpuscules réfléchis et transmis.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Sur la dynamique classique de l'électron. Théorie de fonctions premières et le moment propre de l'électron.* Note de M. **Bernard Kwal**, présentée par M. Louis de Broglie.

1. Nous allons montrer tout d'abord que les équations de la dynamique de Lorentz peuvent être remplacées par des équations aux dérivées partielles qui se rattachent à la théorie des invariants intégraux de Poincaré-Cartan dans l'espace-temps.

Soient $u = v\left[\sqrt{1 - (v^2/c^2)}\right]$ la vitesse de l'électron, E_e et H_e le champ électromagnétique extérieur dans lequel est plongé l'électron. La force de

Lorentz s'écrit

$$(1)\qquad \mathrm{L} = e\left\{u_0\mathrm{E}_e + \left[\frac{u}{c}\mathrm{H}_e\right]\right\}, \qquad \mathrm{L}_0 = ie\left(\frac{u}{c}\mathrm{E}_e\right).$$

Introduisons également l'expression suivante :

$$(2)\qquad \mathrm{N} = e\left\{u_e\mathrm{H}_e - \left[\frac{u}{c}\mathrm{E}_e\right]\right\}, \qquad \mathrm{N}_0 = ie\left(\frac{u}{c}\mathrm{H}_e\right).$$

Dans ces conditions le quaternion complexe $\mathbf{K} = \mathbf{L} + i\mathbf{N}$ peut-être représenté par le produit quaternonien du quadrivecteur courant $\mathbf{I}(e/c\mathbf{u})$ par le quaternion $\mathbf{F}_c^*(\mathrm{H}_1 - i\mathrm{E}_1, \mathrm{H}_2 - i\mathrm{E}_2, \mathrm{H}_3 - i\mathrm{E}_3, 0)$

$$(3)\qquad \mathbf{K} = \mathbf{IF}_c^* = -\mathbf{I}\frac{\overline{\partial}}{\partial\mathbf{x}}\mathbf{A}_e = -\mathbf{u}\frac{\overline{\partial}}{\partial\mathbf{x}}\left(\frac{e}{c}\mathbf{A}_c\right).$$

D'autre part, la définition relativiste de la force d'inertie newtonienne

$$(4)\qquad \frac{d}{d\tau}(m_0\mathbf{u}) = \frac{d}{d\tau}\mathbf{P} = \left(u_0\frac{\partial}{\partial x_0} + u_1\frac{\partial}{\partial x_1} + u_2\frac{\partial}{\partial x_2} + u_3\frac{\partial}{\partial x_3}\right)\mathbf{P} = \left(\mathbf{u}\frac{\overline{\partial}}{\partial\mathbf{x}}\right)_0\mathbf{P},$$

fait intervenir uniquement la quatrième composante de l'opérateur quaternionien $\mathbf{u}\partial/\partial\mathbf{x}$. Il est donc tout à fait naturel, en théorie quaternionienne, de prendre pour les équations définissant le mouvement les équations suivantes :

$$(5)\qquad \mathbf{u}\frac{\overline{\partial}}{\partial\mathbf{x}}\left(\mathbf{P} + \frac{e}{c}\mathbf{A}_c\right) = 0,$$

ou encore

$$(6)\qquad \frac{\partial}{\partial\mathbf{x}}\left(\mathbf{P} + \frac{e}{c}\mathbf{A}_c\right) = 0,$$

équations qui expriment que le quaternion intégral $\int d\overline{\mathbf{x}}\left(\mathbf{P} + \frac{e}{c}\mathbf{A}\right)$, étendu à une courbe fermée quelconque de l'espace temps, est nul.

Les équations (6) s'écrivent dans la notation vectorielle de la manière suivante :

$$(7)\qquad \boxed{\mathrm{H}_e = \frac{c}{e}\operatorname{rot}\mathrm{P}, \qquad \mathrm{E}_e = \frac{c}{e}\left(-\frac{1}{c}\frac{\partial\mathrm{P}}{\partial t} - \operatorname{grad}\mathrm{P}_0\right), \qquad \operatorname{Div}\mathrm{P} = 0.}$$

Ces équations peuvent s'obtenir par une méthode plus élémentaire, en ajoutant à la force d'inertie l'expression grad $1/2\ m_0(u_0^2 + u_1^2 + u_2^2 + u_3^2)$, qui est identiquement nulle, et en égalant les coefficients des composantes de u.

2. La définition des intégrales premières f n'est pas covariante, elle est relative à un système de coordonnées bien déterminé dans lequel on a

$$(8) \qquad \frac{df}{dt} = \left(u_0\frac{\partial}{\partial x_0} + u_1\frac{\partial}{\partial x_1} + u_2\frac{\partial}{\partial x_2} + u_3\frac{\partial}{\partial x_3}\right)f = \left(\mathbf{u}\frac{\bar{\partial}}{\partial \mathbf{x}}\right)_0 f = 0,$$

en vertu des équations du mouvement.

Nous sommes ainsi amenés à introduire, en dynamique relativiste, une conception analogue, mais qui est conforme avec la description spatio-temporelle, quadridimentionnelle des phénomènes. Étant donné une fonction quaternionienne $\mathbf{F}$, nous dirons qu'elle est une *fonction première*, si l'on a, en vertu des équations du mouvement,

$$(9) \qquad \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}}\mathbf{F} = 0,$$

Le quadrivecteur $\mathbf{P} + e/c\,\mathbf{A}_e$ est donc une fonction première, par contre le moment orbital $(\mathbf{P} + e/c\,\mathbf{A}_e)\bar{\mathbf{x}}$ ne l'est pas, et, il faut ajouter un quadrivecteur de seconde espèce $\mathbf{M}$, tel que

$$(10) \qquad \overline{\mathbf{P} + \frac{e}{c}\mathbf{A}_e} = \frac{1}{2}\frac{\bar{\partial}}{\partial \mathbf{x}}\mathbf{M}$$

pour obtenir une fonction première.

Or on a

$$(11) \qquad \mathbf{P} = m_0\mathbf{u} = \frac{m_0 c}{e}\frac{e}{c}\mathbf{u} = \frac{m_0 c}{e}\mathbf{j}.$$

Donc, en posant

$$(12) \qquad \boldsymbol{\sigma} = \frac{e}{2m_0 c}\mathbf{M},$$

les équations (10) deviennent

$$(13) \qquad \overline{\mathbf{j} + \frac{e^2}{m_0 c^2}\mathbf{A}_e} = \frac{\partial \boldsymbol{\sigma}}{\partial \mathbf{x}}.$$

En l'absence du champ extérieur ($\mathbf{A}_e = 0$) et en supposant que l'électron soit répandu d'une manière uniforme dans tout l'espace, les équations (13) deviennent identiques aux équations qui définissent le champ propre de l'électron de Lorentz.

Quant au moment propre $\mathbf{M}$, il joue également le rôle de la fonction d'action relative au quadrivecteur $\mathbf{P} + e/c\,\mathbf{A}_e$.

CHALEUR. — *Détermination simultanée de la chaleur spécifique et de la conductibilité thermique des isolants. Méthode du signal.* Note de M. **Pierre Vernotte**, présentée par M. Aimé Cotton.

Nous avons signalé que la propagation de la chaleur dans les corps peu conducteurs n'avait guère que deux aspects intéressants : 1° l'importance du flux de chaleur reçu dans les premiers instants par la face de l'isolant recevant une perturbation thermique, ce qui entraîne des conséquences malheureuses (précision compromise en calorimétrie) ou heureuses (cylindres de moteur refroidis par balayage d'air frais); 2° l'absence presque absolue de manifestations thermiques sur l'autre face, pendant un temps durant lequel l'isolant joue le rôle d'un écran.

C'est de *l'apparition d'un signal sur l'autre face d'une plaque isolante* que nous allons tirer parti pour déterminer sa chaleur spécifique et sa conductibilité.

Imaginons une telle plaque, isolée dans l'espace, et ne pouvant rien dissiper vers l'extérieur. Sur la face avant, on fait tomber un flux de chaleur φ par unité de surface, et sur la face arrière, on a disposé, en contact parfait avec elle, un organe thermométrique infiniment mince. Prenons pour origine des températures, la température uniforme initiale. En appliquant l'analyse de Fourier, non à la température (puisqu'il ne peut s'établir une température de régime), mais à son gradient, on trouve, finalement, pour la température de la face arrière

$$V = \frac{\varphi l}{k}\left[\frac{2}{\pi^2}\left(e^{-mt} - \frac{1}{4}e^{-4mt} + \frac{1}{9}e^{-9mt} - \frac{1}{16}e^{-16mt} + \ldots\right) + \frac{mt}{\pi^2} - \frac{1}{6}\right],$$

m étant la quantité $\pi^2 k : c\rho l^2$, où $c\rho$ est la chaleur spécifique volumique, k, la conductibilité thermique, l, l'épaisseur de l'isolant, et t étant le temps.

La quantité entre crochets est *prodigieusement faible* pour les valeurs de mt inférieures à 0,5; elle atteint 0,0003 pour $mt = 0{,}5$; la courbe se détache lentement de l'axe des temps, puis croît plus vite, la courbure étant maxima pour mt voisin de 0,9 (l'ordonnée vaut alors 0,0055). C'est à ce moment que l'on peut situer l'apparition pratique du signal, mais c'est en deçà que nous ferons les mesures, car, on le verra plus loin, on a intérêt à opérer *dès les plus faibles valeurs du temps*. Nous ne sommes pas descendu au-dessous de $mt = 0{,}5$ avec notre appareil rudimentaire.

L'idée d'utiliser la diffusion, dans l'isolant, d'une élévation de tempé-

rature superficielle, est ancienne. Mais, outre que les méthodes qui s'en inspiraient soulevaient de grandes difficultés techniques, elles ne permettaient que la détermination du rapport de la conductibilité à la chaleur spécifique, et surtout leur mise en œuvre correcte se heurtait à une impossibilité expérimentale, car on n'est pas maître, en général, d'imposer à la surface d'un corps une certaine *température*. Tandis qu'on peut diriger sur elle tel *flux de chaleur* que l'on veut.

La formule donnant V contient deux paramètres, $\varphi l : k$ et m. Le premier donne k et le second donne $c\rho$, connaissant k. Cette double détermination se fait très simplement en portant V et t sur un graphique logarithmique. On superpose par translation la courbe théorique tracée sur transparent, et la courbe expérimentale. Le déplacement parallèle à l'axe des V donne $\log(\varphi l : k)$, l'autre donne $\log m$.

Nous avons réalisé expérimentalement, de la façon suivante, le montage stylisé indiqué plus haut :

Entre deux plaques identiques (carré de 10^{cm} de côté et de 1^{cm} d'épaisseur) on dispose une feuille de caoutchouc de $0^{mm},6$ d'épaisseur, dans laquelle on a évidé un carré de 8^{cm} de côté. Un même flux de chaleur tombe sur les plaques par leur autre face. Le gradient de température sera ainsi nul sur les faces en regard, par raison de symétrie, et la petite chambre d'air est un volume isotherme. On y dispose le thermomètre, constitué par un double treillis de fil de cuivre de $0^{mm},05$ de diamètre, guipé à la soie, de 2^{mm} de maille, porté par un cadre de 5^{cm} de côté, très étroit, en clinquant de laiton de $0^{mm},05$ d'épaisseur, raidi par des pliages. La variation thermique de résistance électrique est mesurée par un pont de Wheatstone, alimenté par pile sèche, et contrôlé par un microampèremètre à aiguille, donnant toute sa déviation pour $10\,\mu A$, et que l'on étalonne, au moment de la mesure, en produisant dans le pont un déréglage connu. Le temps est enregistré sur un chronomètre à tache d'encre.

Le flux de chaleur est produit par un même treillis de cuivre, de 4^{mm} de maille, porté par un cadre de 8^{cm} de côté, et logé dans une même chambre fermée par une autre plaque. A l'autre face de cette plaque, le gradient de température est négligeable, d'une part, parce que l'expérience est arrêtée dès que l'échauffement commence à y devenir sensible, et d'autre part parce qu'une plaque d'ébonite mousse, de très petite conductibilité et de très petite chaleur spécifique volumique, étant mise au contact de l'autre face (avec interposition du même matelas d'air), on ne peut laisser sortir de l'isolant qu'un flux de chaleur insignifiant.

Le montage comporte quatre plaques de l'isolant à étudier, deux chauffoirs et un thermomètre. Il est pratiquement *symétrique* et comme, d'autre part, la capacité calorifique des chauffoirs et du thermomètre est *dérisoire*, on est dans les conditions théoriques voulues.

Le fil de cuivre des chauffoirs s'échauffe et sa résistance augmente, mais on rend φ constant par l'artifice de la *puissance stationnaire*.

Le flux qui pénètre dans chaque plaque est 0,18 watt/cm².sec. On arrête la mesure dès que le thermomètre accuse un échauffement de 0°,4.

Le thermomètre fonctionne sans retard appréciable, la constante de temps de son échauffement par rapport aux surfaces d'isolant étant 0,1 seconde. Quant au microampèremètre, on trouve que l'on peut tenir compte de son retard, d'une façon presque parfaite, sauf pour les très petites valeurs de mt, pourtant intéressantes (c'est pourquoi un galvanomètre de réponse rapide doit être préféré), en retranchant des temps, le double de la constante (4 secondes) de l'appareil, que nous avons vérifié être à l'apériodicité critique.

La *brièveté* de la mesure (2 minutes dans nos expériences) est une qualité en soi. C'est aussi un grand avantage technique, puisqu'elle neutralise les nombreuses perturbations à craindre. C'est enfin un aspect très heureux au point de vue scientifique, puisqu'on se trouve dispensé de tenir compte de la déperdition par la deuxième face des plaques extrêmes, et surtout de corriger l'influence très complexe des bords, cette influence n'ayant pas eu le temps de se faire sentir dans la région centrale de l'isolant.

Nous avons trouvé, à quelques centièmes près, pour une ébonite de densité $\rho = 1,20$: $k = 0,00041$, et $c = 0,34$, en unités calorifiques C.G.S.

SPECTROSCOPIE. — *Sur l'excitation des bandes de* CuCl *par fluorescence dans la vapeur du chlorure cuivreux.* Note de M. **Jean Terrien**, présentée par M. Aimé Cotton.

1. Nous avons publié [1] les résultats d'une première étude des phénomènes de fluorescence et d'absorption présentés par la vapeur de chlorure cuivreux. Des améliorations expérimentales ont permis depuis, grâce à un gain de luminosité, d'analyser au spectrographe la lumière de fluorescence excitée par l'irradiation ultraviolette *monochromatique* de la vapeur. La source de lumière excitatrice est une étincelle quasiponctuelle entre électrodes métalliques (Zn, Cd, Al, Cu); elle est suivie d'un système dispersif en quartz orienté de façon à donner au sein de la vapeur une succession d'images monochromatiques de l'étincelle disposée dans le sens vertical; on projette les images des faisceaux excitateurs, visibles dans la vapeur par la fluorescence qu'ils y provoquent, sur la fente d'un spectro-

---

[1] J. Terrien, *Comptes rendus*, 200, 1935, p. 1096.

graphe stigmatique placé à angle droit par rapport à ces faisceaux ; on enregistre ainsi simultanément les spectres de fluorescence excités par les différentes radiations de l'étincelle, disposés les uns au-dessous des autres sur la plaque photographique.

Dans ces conditions, on observe que les bandes de fluorescence situées dans le visible ne se comportent pas de la même façon que les raies du cuivre, situées dans l'ultraviolet et présentes elles aussi dans le spectre de fluorescence. Nous nous bornerons dans cette Note à l'étude des bandes visibles.

2. On constate que le spectre de la fluorescence visible, constitué par l'ensemble des cinq systèmes de bandes connus de la molécule CuCl, est excité par les radiations de longueur d'onde inférieure à 2370 Å environ; jusqu'à la limite accessible de l'ultraviolet (λ 1850 Å), le spectre excité est toujours le même, avec quelques légères différences dans la répartition des intensités, sur lesquelles nous reviendrons plus loin. Rappelons d'autre part que l'étude de l'absorption ultraviolette nous avait permis de distinguer dans le spectre une bande continue, discernable à faible pression, qui s'étend à partir de λ 2350 Å vers les courtes longueurs d'onde, et présente un maximum voisin de λ 2230 Å; or on peut estimer visuellement que l'intensité de la fluorescence, à peu près nulle sous l'excitation λ 2370 Å, devient maximum avec l'excitation λ 2250 Å. Il semble donc permis d'identifier la bande continue d'excitation de fluorescence et la bande continue d'absorption dont nous avions montré l'existence.

3. Afin de spécifier d'une façon plus précise les légères différences d'intensité qui s'observent dans le spectre de fluorescence, rappelons que les cinq systèmes de bandes de CuCl sont les suivants : A dans le vert, B et C dans le bleu, D et E dans le violet. L'excitation par des radiations de longueur d'onde de plus en plus courte favorise progressivement les différents systèmes dans l'ordre A, B et C, D et E. Ce résultat peut sembler naturel, si l'on remarque que les états excités correspondants de CuCl occupent des niveaux d'énergie de plus en plus élevés. En effet, d'après l'analyse de Ritschl (²), qui a classé toutes les principales têtes de bande de ce spectre, la fréquence fondamentale de l'état inférieur est à peu près la même pour chacun des cinq systèmes; ceux-ci ont donc probablement cet état inférieur en commun, et les états supérieurs A, B, C, D, E ont bien une énergie d'excitation de plus en plus grande. On trouve jusqu'à

(²) *Zeitschrift für Physik*, **42**, 1927, p. 172.

un certain point une confirmation de cette façon de voir dans l'étude de l'émission purement thermique : en élevant progressivement la température jusqu'à 1400°C., nous avons obtenu l'émission successive des systèmes en question, et la couleur d'abord verte tend vers le bleu.

4. Quel est le mécanisme de la fluorescence de CuCl dans la vapeur de chlorure cuivreux ? Aux températures où sont faites les expériences, les molécules sont entièrement polymérisées, et ont pour formule Cu^2Cl^2; ceci résulte des déterminations de densité de vapeur et de l'absence du spectre d'absorption caractéristique de CuCl. D'autre part, l'intensité de la fluorescence est proportionnelle à l'intensité de l'excitation, ce qui tend à prouver que les groupements excités $(CuCl)^*$ sont produits par l'action photochimique d'un seul quantum absorbé. L'action la plus probable est donc la dépolymérisation de Cu^2Cl^2 en une molécule normale et une molécule excitée :

$$Cu^2Cl^2 + h\nu \rightarrow CuCl + (CuCl)^*.$$

Cette formule nous paraît donner la meilleure interprétation des faits expérimentaux connus jusqu'à présent.

SPECTROSCOPIE. — *Sur l'interprétation du spectre infrarouge des protéines*. Note [1] de MM. **Fred Vlès** et **Erwin Heintz**, présentée par M. Paul Portier.

Ayant défini [2] la structure spectrale infrarouge d'un certain nombre de protides, nous nous sommes demandés jusqu'à quel point l'on peut interpréter la structure spectrale des protéines à partir du spectre de leurs acides aminés de constitution. Dans une première comparaison qualitative, nous avons reconnu dans les bandes spectrales de protéines des détails significatifs du spectre des acides aminés en prédominance, tels qu'ils sont indiqués par les données classiques [3]. Ensuite, dans une recherche quantitative, nous avons reconstruit le spectre d'une protéine en sommant les absorptions de ses plus importants constituants. Cette dernière opération a engagé de nouvelles déterminations soignées des constantes d'absorption

(1) Séance du 8 février 1937.

(2) F. Vlès et E. Heintz, *Comptes rendus*, 200, 1935, p. 1927; E. Heintz, *ibid.*, 201, 1935, p. 1478.

(3) Osborne, Samuely Raske, etc., *in* Abderhalden, *Bioch. Handb.*, IV, 1911 etc..

de la substance protéique envisagée (sérumalbumine) et de ses acides aminés, envisagés sous un état comparable (lames sèches).

Comparaisons qualitatives. — La comparaison des spectres infrarouges d'une protéine et de ses acides aminés constitutifs suffit souvent pour reconnaître dans le premier certains éléments caractéristiques des derniers ([4]) : il en est ainsi pour la *sérumalbumine* (leucine et lysine, et secondairement acide glutamique); pour des globulines (*édestine* : surtout acide glutamique, secondairement leucine; *excelsine* : acide glutamique, et puis arginine); pour la *caséine* (acide glutamique, leucine, lysine); pour l'*oxyhémoglobine* (surtout histidine; secondairement leucine; le groupement prosthétique, défini au moyen d'une hémine, ne joue que d'une façon minime, dans λ 3$^{\mu}$,1 et 6$^{\mu}$,9); pour la *gélatine*, surtout glycocolle, ensuite proline). On a aussi comparé le spectre de la gélatine à celui de la dicétopipérazine, qui a deux bandes (6$^{\mu}$,4; 5$^{\mu}$,0), non présentées par le glycocolle; or la gélatine possède aussi des bandes 5$^{\mu}$,0 et 6$^{\mu}$,5, ce qui pourrait sembler traduire dans son spectre l'intervention d'éléments dicétopipéraziques.

Examen quantitatif. — Le spectre de la sérumalbumine (préparation du Dr Piettre, à l'acétone) a été obtenu à partir d'une lame sèche de 0^{mm},01 d'épaisseur de cette substance. Les quantités q des constituants admis comme les plus importants, ont été en première approximation (sur 100^{g}) : leucine 20^{g}; lysine 13^{g}; acide glutamique 8^{g}; arginine 5^{g}; cystine 4^{g}; histidine 3^{g},4; acide aspartique 3^{g},2; les constantes d'absorption K de ces divers acides aminés ont été également déterminées sur lames sèches de 1/100e de millimètre d'épaisseur; avec elles on a construit la *courbe synthétique* correspondant à l'intervalle spectral de la courbe de la sérumalbumine, c'est-à-dire qu'on a sommé les produits Kq obtenus à partir des sept éléments ([5]). Il est essentiel de remarquer que le total des constituants ainsi envisagés ne représente que les 62 pour 100 du poids de la protéine, mais les faibles différences entre la courbe ainsi calculée et la réalité (voir la figure) ([6]) laissent entendre que la grosse portion dont il n'a pas été tenu

---

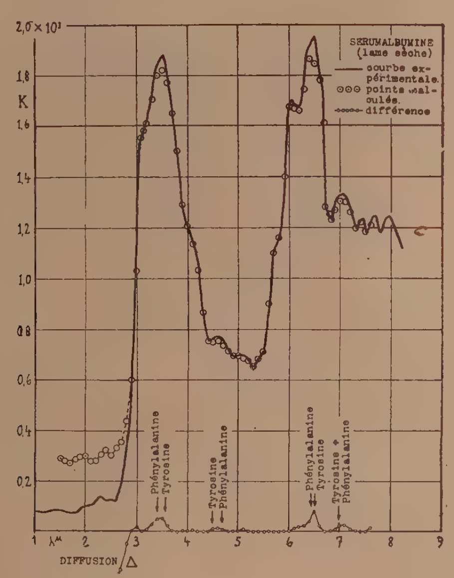
([4]) Les valeurs numériques paraîtront dans un autre Recueil.

([5]) On a rajouté au total une petite quantité d'eau (5,8 pour 100) représentant les traces de ce corps estimées dans les spectres; et ramené proportionnellement sur λ 6$^{\mu}$,4 de la sérumalbumine.

([6]) Au-dessous de λ 2$^{\mu}$,7 les constantes de certaines lames sèches d'acides aminés sont faussées par des phénomènes de diffusion; le total est entaché d'erreur progressive par excès.

compte n'a qu'une importance spectrale secondaire (soit peu sélective, soit proportionnelle au constitué). La *courbe de différences* Δ entre la courbe réelle et la courbe calculée laisse reconnaître des traces de la tyrosine et de la phénylalanine.

Considérations théoriques. — La reconnaissance qualitative et quantitative des acides aminés constitutifs dans le spectre des protéines semble au premier abord en concordance avec la théorie de la structure peptidique



Spectre infrarouge de la sérumalbumine (lame sèche) et courbe synthétique ⊙⊙ calculée au moyen de la somme de sept acides aminés constitutifs.

des protéines (Fischer); comme nous l'avons vu plus haut, elle offre également certains arguments d'accord avec la théorie dicétopipérazique d'Abderhalden. Par contre elle paraît opposée aux théories dites polycycliques (Troensegaard), qui admettent une structure où les acides aminés ne sont pas préformés dans la molécule protéique. Cette dernière conception conduirait en outre à supposer la présence dans la protéine d'un nombre particulièrement élevé de noyaux pyrroliques; or la comparaison de nos spectres avec le spectre du pyrrol de Coblentz (7) ne permettrait pas de considérer une prédominance quelconque de celui-ci.

(7) W. W. Coblentz, *Carnegie Inst. of Washington*, 35, 1905, p. 278.

SPECTROSCOPIE. — *Le passage de l'effet Zeeman à l'effet Paschen Back de structure hyperfine dans la polarisation des radiations de résonance.* Note de M. **Paul Soleillet**, transmise par M. Pierre Weiss.

La théorie que nous avons faite de la polarisation des radiations de résonance ([1]) n'est directement applicable qu'aux cas où les composantes de structure hyperfine sont largement séparées par rapport à la largeur naturelle des raies et où, le champ magnétique cessant d'être nul, il reste assez faible pour que la décomposition des niveaux s'effectue suivant les lois de l'effet Zeeman hyperfin.

Dans le cas du cadmium et de la raie 2288, pour les isotopes impairs de spin nucléaire 1/2, d'après les résultats de Heydenburg ([2]), le doublet hyperfin que constitue l'état excité a une séparation de $3\Delta = 12,6$ mcm^{-1} tandis que la largeur naturelle des raies, d'après les résultats de Filippov ([3]) sur la dispersion anomale, serait de 2,6 mcm^{-1} (τ durée moyenne de vie $= 2.10^{-9}$). D'autre part, la proportionnalité au champ de la séparation magnétique des niveaux (effet Zeeman) cesse dès que le champ atteint quelques dizaines de gauss.

Nous avons pu traiter complètement ce cas en utilisant pour le calcul des matrices ([4]) fournissant les amplitudes des probabilités de passage la méthode de Heisenberg et Jordan ([5]) et en introduisant entre les vibrations, qui, dans la dégénérescence complète, devraient être cohérentes, un déphasage proportionnel à la durée de vie à l'état excité et à la séparation des niveaux, que celle-ci provienne du champ extérieur seul ou qu'elle provienne aussi du couplage du spin nucléaire avec le moment électronique.

En utilisant nos notations habituelles, nous avons obtenu pour les U : (nous ne reproduirons pas ici les formules des V à cause de leur longueur)

$$U_1 = u_1(2 - A) + u_2 A,$$
$$U_2 = u_1 A + u_2(2 - A - B) + u_3 B,$$
$$U_3 = u_2 B + u_3(2 - B)$$

([1]) P. Soleillet, *Journal de Physique*, 7, 1936, p. 77.

([2]) *Physical Review*, 43, 1933, p. 640.

([3]) *Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion*, 1, 1932, p. 289.

([4]) P. Soleillet, *Comptes rendus*, 203, 1936, p. 1333. Erratum. Mettre devant $X + iY$ et $X + iY$, les deux fois, le facteur $1/\sqrt{2}$.

([5]) *Zeitschrift für Physik*, 37, 1926, p. 263.

avec

$$\frac{4}{A} = z^2 + 2z + 9 + \frac{1}{4\pi^2\tau^2\Delta^2} \quad \text{et} \quad \frac{4}{B} = z^2 - 2z + 9 + \frac{1}{4\pi^2\tau^2\Delta^2},$$

z étant défini par $H\mu_B g = z\Delta hc$, H champ magnétique, μ_B le magnéton de Bohr, g facteur de Landé de structure fine $= 3/2$. Avec la valeur admise ici pour Δ, $z = 1$ correspond à 59,5 gauss.

Nous avons pu, de la discussion des formules, tirer les conclusions suivantes :

1° Quel que soit le champ, l'intensité totale émise $U_1 + U_2 + U_3$ ne dépend que de l'intensité totale d'excitation $u_1 + u_2 + u_3$, que cette excitation soit isotrope ou non. Si elle est isotrope $u_1 = u_2 = u_3$, la radiation émise est aussi isotrope $U_1 = U_2 = U_3$. C'est une façon de vérifier le principe de stabilité spectroscopique. On peut en tirer la généralisation à des champs quelconques de la formule

$$\frac{2}{P_{\parallel}} = \frac{1}{P_{\perp}} + 1,$$

$P_{\perp}$ taux de polarisation rectiligne dans l'observation transversale lors d'une excitation par de la lumière naturelle $u_1 = u_3 \neq 0$, $P_{\parallel}$ celui lors d'une excitation par de la lumière rectiligne $u_2 \neq 0$.

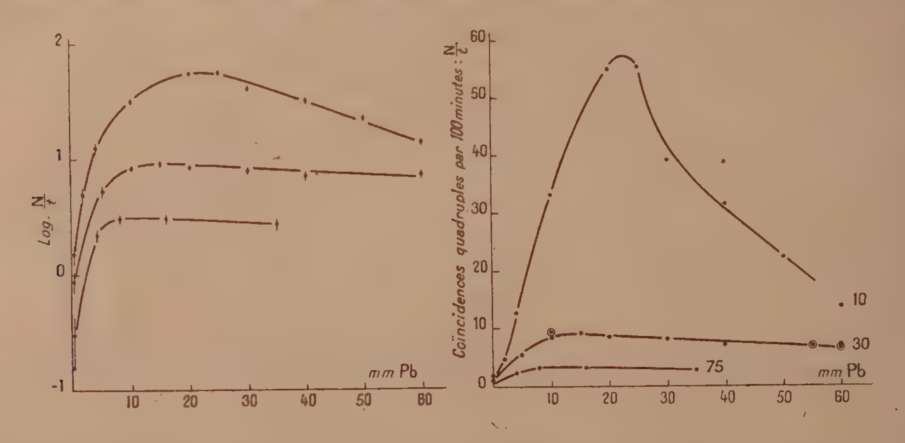
2° Dans le cas d'un champ nul, on peut suivre le passage continu du cas d'une séparation Δ grande par rapport à la largeur naturelle, alors $A = B = 4/9$, incohérence complète des composantes du doublet, à celui d'une séparation Δ petite par rapport à la largeur naturelle, $A = B = 0$, cohérence complète.

3° Deux des niveaux magnétiques provenant des deux termes du doublet viennent se couper pour $z = 2$. La cohérence qui en résulte pour certaines des vibrations qui déterminent le taux de polarisation rectiligne dans l'observation longitudinale lors d'une excitation transversale modifie profondément la courbe ordinaire en $a/(b + H^2)$.

4° Dans l'excitation longitudinale $u_2 \neq 0$, U_1 et U_3 ne sont égaux que pour des champs faibles ou très forts. On devrait donc observer dans la région intermédiaire une polarisation circulaire partielle de la radiation émise dans la direction du champ, phénomène qui serait tout à fait caractéristique du passage de l'effet Zeeman à l'effet Paschen-Back.

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Effets secondaires des rayons cosmiques à l'air libre et en sous-sol.* Note ([1]) de M. **Pierre Auger** et Mme **Grivet Meyer**, transmise par M. Jean Perrin.

I. Nous avons montré ([2]) que les corpuscules cosmiques du groupe pénétrant, étudiés par exemple sous des épaisseurs de sol et d'air équivalents à 30m et 75m d'eau, produisaient dans les éléments lourds des effets secondaires multiples (gerbes) dont les caractères ne sont pas identiques à ceux des gerbes observées à l'air libre. En particulier, nous avons attiré



l'attention sur la forme de la courbe représentant la variation du nombre de ces gerbes en fonction de l'épaisseur de l'écran de plomb où elles se forment : dans les laboratoires souterrains, il se produit une sorte de saturation très vite atteinte (moins de 10mm de Pb) tandis qu'au-dessus du sol, on observe un maximum (vers 20mm) suivi d'une rapide décroissance exponentielle.

II. Les mesures ont été reprises avec des appareils à coïncidences à quatre compteurs, du modèle décrit à propos d'un travail fait en haute altitude ([3]) et avec des écrans en forme de voûtes (petites voûtes du travail cité). Nous donnons ci-contre les courbes de variation du nombre de coïn-

---

([1]) Séance du 8 février 1937.
([2]) *Comptes rendus*, **202**, 1936, p. 1923.
([3]) *Comptes rendus*, **203**, 1936, p. 1082.

cidences par 100 minutes en fonction des épaisseurs des écrans, et les courbes logarithmiques correspondantes. Les courbes supérieures sont obtenues à Paris, sous une coupole astronomique (écran total atmosphérique équivalant à 10^m d'eau), les courbes moyennes sous $8^m,50$ de sol (écran total : 30^m d'eau), les courbes inférieures sous 28^m de sol (écran total : 75^m d'eau). Nous pensons que les valeurs absolues des nombres de coïncidences peuvent être comparées entre elles, les appareils ayant été transportés rapidement d'un laboratoire à l'autre et ayant fonctionné régulièrement. La comparaison absolue avec les valeurs obtenues au Jungfraujoch avec les mêmes dispositifs ne paraît pas possible ici; elle a été d'ailleurs réalisée dans un travail antérieur (4).

III. On voit que les courbes présentent les caractères observés dans le premier travail, mais avec une valeur de départ (sans écran de plomb) beaucoup plus basse, à cause de l'emploi de quatre compteurs. La finesse de l'analyse s'en trouve accrue, et l'on peut mieux voir la très rapide croissance atteignant une valeur maximum vers 10^{mm}. Une décroissance lente est également visible, mais des expériences en cours montrent qu'elle ne se poursuit pas au delà de 60^{mm}. Les caractères des courbes sous 8^m et 28^m de sol sont comparables, et très différents de ceux des courbes à l'air libre. Sur les courbes logarithmiques, on peut voir que le coefficient de décroissance de ces courbes de sous-sol est 10 fois plus petit que celui de la courbe à l'air libre. Comme Clay et nous-mêmes l'avions déjà signalé, la décroissance du nombre maximum de gerbes (obtenu avec un écran de plomb de 20^{mm}) suivant l'écran total d'air et de sol superposé est sensiblement parallèle à la décroissance du nombre de corpuscules cosmiques, ainsi que l'on peut le voir en comparant les valeurs ci-contre à celles obtenues dans un récent travail (5) fait dans les mêmes laboratoires avec des groupes de compteurs situés dans un plan vertical.

---

(4) BERTHELOT, *Diplôme d'études supérieures*, Paris, 1936; P. AUGER, *Kernphysik*, Berlin, 1936.

(5) *Comptes rendus*, 204, 1937, p. 257.

THERMOCHIMIE. — *Contribution à la thermochimie des hydrocarbures.* Note de M. **Marcus Brutzcus**, présentée par M. Jean Perrin.

Il a été trouvé [1] qu'à la combustion d'un atome gazeux et libre de C, 456,6 K_{cal}/at-g se dégagent. En raison de l'importance de ce chiffre pour toute la Chimie nous montrons ici que précisément cette même valeur pour la puissance calorifique intrinsèque de l'atome C, peut aussi être trouvée en partant des puissances calorifiques expérimentales $P_{cal}(C^m H^n)$ des hydrocarbures de toutes les séries. En introduisant les mêmes notations que dans la Note précédente

$$P_{at}(C^m H^n) = m.L_i(C - O^2) + n.L_i(H - O) = P_{cal}(C^m H^n) + (m + n/4).L_i(O = O) + \Sigma L_i(C^m H^n) + m'.102,72,$$

$$m.L(C - O^2) = [P_{cal}(C^m H^n) + (m + n/4).L_i(O = O) + \Sigma L_i(C^m H^n) + m'.102,72] - n.L_i(H - O).$$

Les tables de la Note précédente (ligne 5) contiennent les valeurs intrinsèques de $\Sigma L_i(C^m H^n) + m'.102,72$; pour obtenir les valeurs réelles de ces liaisons qui doivent y entrer en compte, il faut en déduire pour les séries : non cyclique $[(m-1) + 1/2n].102,72$; cyclique $(m + 1/2n).102,72$; aromatique $(1\frac{1}{2}m + 1/2n).102,72$. Les tables ci-après contiennent ces calculs.

Des tables ci-après et de la Note précédente les conclusions suivantes peuvent être déduites :

1° La puissance calorifique intrinsèque de l'atome C gazeux et scindé, comme il existe dans les hydrocarbures, est égale à 456,6 K_{cal}/at-g (ligne 8) exactement égale à la puissance calorifique de quatre atomes d'hydrogène :

$$4.L_i(H - O) = 4.114,17 = 456,6 K_{cal}/\text{at-g}.$$ (voir p. 491).

2° La puissance calorifique intrinsèque d'un hydrocarbure quelconque

$$P_{at}(C^m H^n) = (m + n/4).456,6 K_{cal}/\text{mol-g}.$$ (ligne 9).

3° Une mole d'oxygène produit à la combustion : d'hydrogène, de carbone ou d'un hydrocarbure quelconque toujours la même quantité de chaleur, à savoir, 456,6 K_{cal}/mol-g.

4° Les 456,6 K_{cal} qui se dégagent à la combustion d'un atome-gramme de carbone se répartissent de la manière suivante (voir p. 491) :

---

[1] *Comptes rendus*, **204**, 1937, p. 490.

	Kcal.
1° L'excitation de l'atome C de l'état neutre à l'état bivalent absorbe...	102,72
2° L'adjonction du premier atome d'O dégage en dehors.............	67,345
3° L'excitation de l'atome C de l'état bivalent à l'état tétravalent absorbe.	102,72
4° A l'adjonction du second atome d'O se dégage en dehors...........	67,345
5° La destruction de la liaison $L_i(O = O)$ absorbe..................	116,4
Total.....................	456,530

	Méthane CH^4.	Éthane C^2H^6.	H—C—H.	Éthylène C^2H^4.
1. $P_{cal}(C^mH^n)$ exp. (E).	211,6	371,3	156,7	332,2
2. $(m+n/4).L_i(O=O)$.	(2) 232,8	(3½) 407,4	(1½) 174,6	(3) 349,2
3. $\Sigma L_i(C^mH^n)$.......	(4) 468,8	(7) 819,5	(3) 353,6	(5) 585,5
4. m'.102,72.......	–	–	–	102,7
5. $P_{at}(C^mH^n)$........	913,2	1598,2	684,9	1369,7
6. $n.L_i(H-O)$.......	(4) 456,6	(6) 685,0	(2) 228,3	(4) 456,6
7. $m.L_i(C-O^2)$......	(1) 456,6	(2) 913,2	(1) 456,6	(2) 913,1
8. $L_i(C-O^2)$........	456,6	456,6	456,6	456,6
9. $P_{at}(C^mH^n)/M.d'O$..	(2) 456,6	(3½) 456,6	(1½) 456,6	(3) 456,6
10. Liaison moyenne...	117,2	117,0	117,8	117,1

	Cyclohexène C^6H^{10}.	Acétylène C^2H^2.	Cyclohexane C^6H^{12}.	Benzène C^6H^6.
1. $P_{cal}(C^mH^n)$ exp. (E).	904,0	311,6	943,3	786,5
2. $(m+n/4).L_i(O=O)$.	(8½) 989,4	(2½) 291,0	(9) 1047,6	(7½) 873,0
3. $\Sigma L_i(C^mH^n)$.......	(16) 1884,7	(3) 333,3	(18) 2118,4	(15) 1764,6
4. m'.102,72........	(1) 102,7	(2) 205,4	–	–
5. $P_{at}(C^mH^n)$........	3880,8	1141,3	4109,3	3424,1
6. $n.L_i(H-O)$.......	(10) 1141,7	(2) 228,3	(12) 1370,1	(6) 685,0
7. $m.L_i(C-O^2)$.....	(6) 2739,1	(2) 913,0	(6) 2739,2	(6) 2739,1
8. $L_i(C-O^2)$........	456,6	456,5	456,6	459,6
9. $P_{at}(C^mH^n)/M.d'O$..	(8½) 456,6	(2½) 456,5	(9) 456,6	(7½) 456,5
10. Liaison moyenne...	117,7	111,1	117,7	117,6

Les chiffres entre parenthèses sont les quantités prises en calcul ([1]).

5° Les hydrocarbures non saturés possèdent un ou plusieurs atomes C

([1]) Une erreur s'est glisée dans notre Note précédente : Dans les tableaux pages 492 et 493, ligne 1, *au lieu de* $m.L(C-C) + \frac{1}{2}n.L(C-H)$, *lire* $m.134{,}69 + \frac{1}{2}n.67{,}42$.

qui se trouvent en état bivalent. Leurs formules doivent être écrites

Oxyde de carbone. Éthylène. Acétylène. Cyclohexène.

où le symbole ( ) indique que deux des valences de l'atome C sont inactives (liées).

6° Il s'ensuit que dans les hydrocarbures non saturés il n'existe ni de doubles ni de triples liaisons des atomes C, ce qui est aussi démontré par le calcul $\Sigma L_i(C^m H^n)$ de leurs molécules. Par exemple, dans l'acétylène (ligne 2),

$$\Sigma L_i(C^2H^2) = (m-1)\,L_i(C-C) + n\,L(C-H) = 1.100,68 + 2.116,34 = 333,36\,K_{cal}.$$

7° Dans les corps aromatiques, par exemple dans le benzène, il y a 6 atomes C, mais 9 liaisons (C — C). Il semble que les liaisons au surplus lient diagonalement les atomes C :

$$\Sigma L(C^6H^6) = 1\tfrac{1}{2}m\,L_i(C-C) + n\,L_i(C-H) = 9.118,5 + 6.116,34 = 1764,6\,K_{cal}.$$

8° $L_i(C-C)$ et $L_i(C-H)$ ont deux sortes de valeurs : 1° valeur intrinsèque moyenne (223,5 et 167,5) qui détermine l'effort qui est nécessaire pour détruire la liaison; 2° valeur réelle moyenne (120,78 et 116,34) qui détermine la quantité de l'énergie absorbée (voir p. 492).

9° Dans les corps non saturés, à cause de la bivalence et dans les corps aromatiques, les liaisons (C — C) sont un tout petit peu affaiblies.

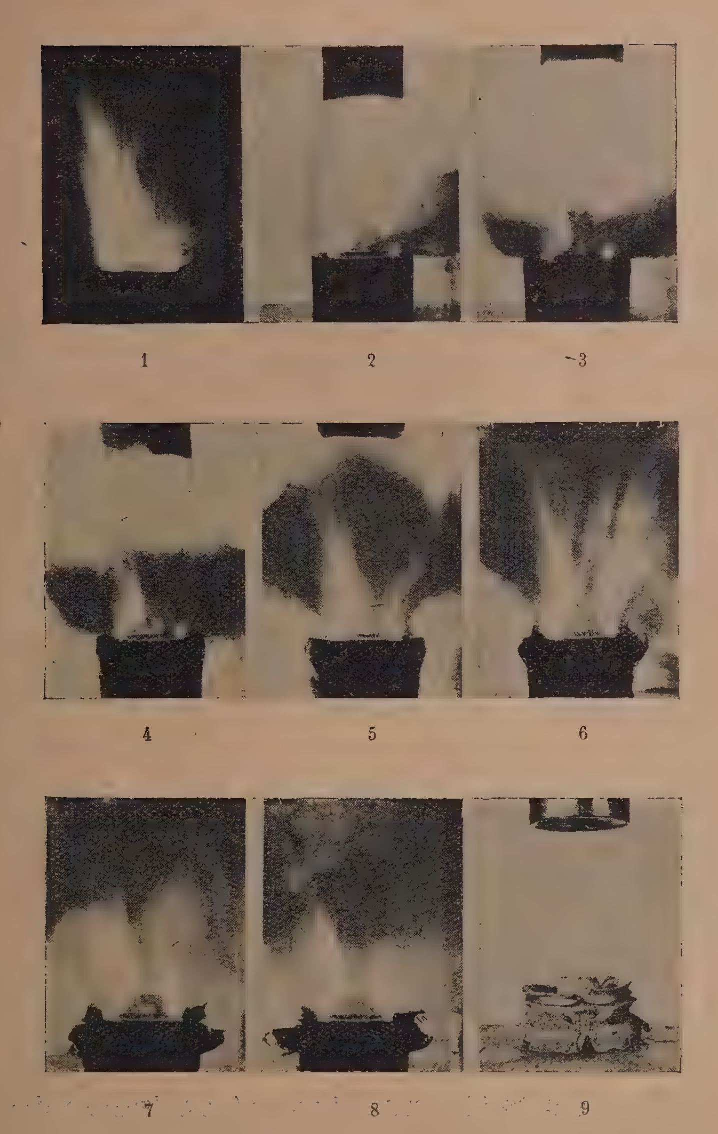
CHIMIE PHYSIQUE. — *Suite de photographies, à intervalles du cent-millième de seconde, des phénomènes accompagnant la détonation d'un explosif brisant.* Note [1] de MM. **Albert Michel-Lévy** et **Henri Muraour.**

Nous avons cherché à confirmer par la photographie le fait que nous avons préalablement établi [2], que les fortes luminosités provoquées par

---

[1] Séance du 15 février 1937.

[2] *Comptes rendus*, **198**, 1934, p. 1499 et 2091; *id.* **201**, 1935, p. 828; *id.* **202**, 1936, p. 949.



1. Luminosités de la détonation dans le cylindre de plomb seul. — 2. Double détonation à intervalle de 0",0000045. — 3. Double détonation à intervalle de 0",000013. — 4. Double détonation à intervalle de 0",000018. — 5. Double détonation à intervalle de 0",000036. — 6. Double détonation à intervalle de 0",000063. — 7. Double détonation à intervalle de 0",000108. — 8. Double détonation à intervalle de 0",000153. — 9. Cylindre de plomb après détonation.

la détonation des explosifs très brisants résultent de l'action de l'onde de choc dans l'atmosphère entourante et non des gaz de l'explosion.

Les luminosités de la détonation dans l'air de $0^{cm^3},4$ d'un mélange à combustion complète de tétranitrométhane et de toluène, placé dans la rainure circulaire d'un *cylindre de plomb*, sont photographiées sur un banc d'optique: un puissant éclat lumineux, d'une durée de 3 millionièmes de seconde, est provoqué en arrière par la détonation dans l'argon, un cent-millième de seconde après la première, d'une même quantité de cet explosif, placé dans la rainure circulaire d'un *cylindre de laiton*.

Ce dernier éclat lumineux donne, par une deuxième impression photographique, sur la même plaque, le dessin en silhouette des gaz opaques et du cylindre de plomb en voie de déformation à la suite de la première détonation.

La détonation est amorcée à 4^{cm} du bloc de plomb et transmise au bloc de laiton (source de lumière) par l'intermédiaire d'un cheminement linéaire d'un explosif en poudre cristalline, le perchlorate de diazo de métanitraniline. La différence de longueur entre les deux cheminements détermine l'intervalle de temps qui s'écoule entre les deux détonations. A une différence de cheminement de 2^{cm} correspond un intervalle de temps de 8 à 9.8 millionièmes de seconde (vérification faite sur un disque tournant à 10000 tours par minute). L'expérience a été recommencée un certain nombre de fois avec des différences de cheminement compris entre 1 et 34^{cm}, correspondant à des intervalles de temps compris entre environ 1/2 et 16 cent-millièmes de seconde, entre les deux photographies superposées. On a réalisé ainsi une série de vues quasi-cinématographiques à un régime de 100 à 200000 vues par seconde.

Voici dans l'ordre chronologique la succession des effets mis en évidence :

Fig. 1. — Luminosités dues à la rencontre des ondes de choc; dans cette expérience, on n'a pas provoqué la deuxième détonation; le fond est donc obscur.

Fig. 2. — Les mêmes luminosités et léger gonflement du plomb par l'onde de choc, sur le fond clair de la deuxième détonation.

Fig. 3, 4, 5, 6. — On assiste : 1° au dégagement progressif des gaz de l'explosion rendus opaques par la présence de particules de plomb. Entre 20 et 40^{mm} au-dessus de la surface du bloc, les gaz cheminent à la vitesse moyenne de 4000 mètres-seconde; 2° à la déformation progressive du bloc de plomb *a*. latéralement, sous l'influence de l'onde de choc, *b*. à la surface, sous l'influence des gaz sous pression.

Fig. 7 et 8. — Les gaz ont cessé de se dégager (après 1 dix-millième de seconde); le

fond lumineux réapparaît. Les pelures de plomb arrachées latéralement par l'onde de choc continuent à s'incurver par la vitesse acquise.

Nous confirmons ainsi, en séparant par la photographie des phénomènes très rapprochés dans le temps, que les fortes luminosités de la détonation sont antérieures à la détente des gaz de l'explosion et ne peuvent leur être attribuées.

CHIMIE PHYSIQUE. — *De l'influence de faibles quantités d'oxydes métalliques sur la cristallisation du borate de zinc.* Note [1] de MM. **René Pâris** et **Paul Mondain-Monval.**

Poursuivant nos recherches sur les facteurs de dévitrification du borate de zinc $2B^2O^3$, $3ZnO$, nous avons examiné, de façon systématique, l'action d'un certain nombre d'oxydes métalliques sur la vitesse de cristallisation de ce produit. Ces oxydes, ou, éventuellement, les carbonates correspondants, étaient incorporés, en quantité connue (inférieure à 1 pour 100), au moment de la fusion du verre et la vitesse de dévitrification était appréciée, en fonction de la température, suivant la technique décrite dans une Note précédente [2]. Nous avons pu ainsi observer que le temps t mis par la perle de borate à se recouvrir de cristaux, dépend non seulement de la température, mais encore de la nature, de la concentration de l'oxyde ajouté, ainsi que de son degré d'oxydation.

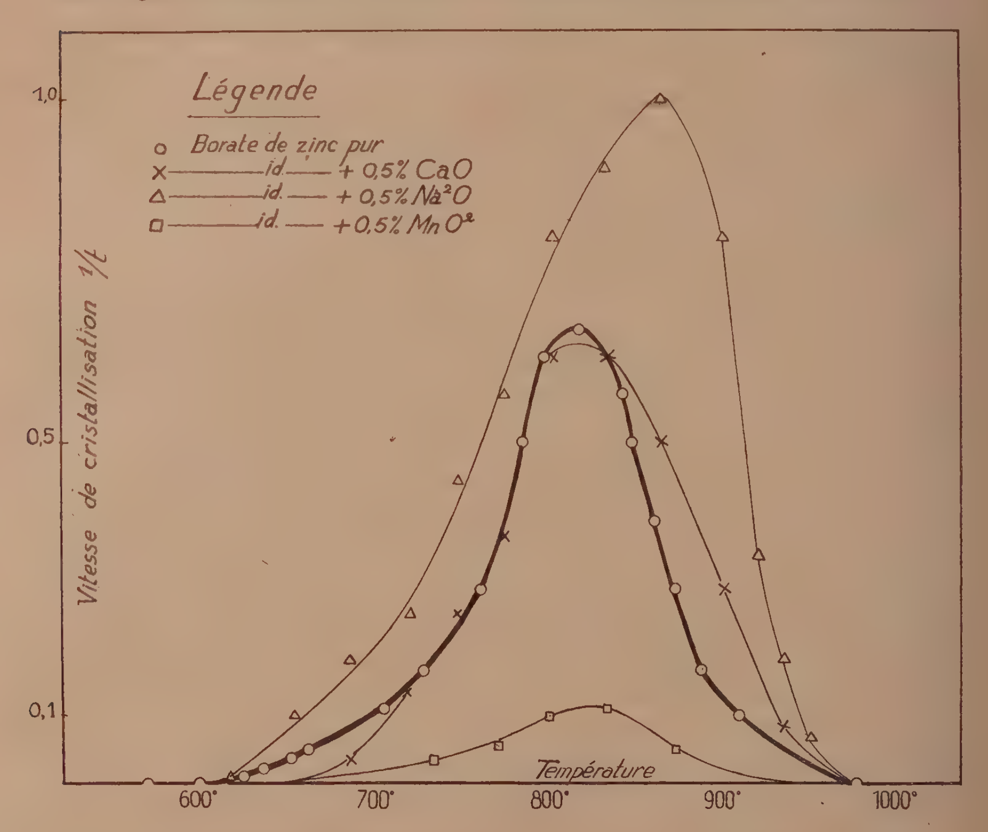
1° *Nature de l'oxyde.* — Au point de vue de leur action sur la vitesse de cristallisation du borate de zinc, les oxydes des différents éléments, à concentration constante et faible (0,5 pour 100) se rangent difficilement suivant la place qu'occupent ces éléments dans la classification périodique. Néanmoins, on a pu constater que tous les oxydes des métaux alcalins essayés (Li, Na, K) accélèrent la cristallisation, tandis que ceux des métaux du groupe II (Gl, Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd) n'ont qu'une action retardatrice très faible. Tous les autres oxydes, à l'exception de l'oxyde de plomb à peu près inactif, entravent de façon très nette la cristallisation de la perle de borate. Nous mentionnerons, dans l'ordre de leur effet croissant, ceux des métaux suivants : Al, Ce, U, Sn, Dy, W, Th, Mo, Tl, Bi, Zr, Co, (Er + Yt), Ni, Cu, Fe, Ti, Mn, Cr.

---

(1) Séance du 15 février 1937.

(2) *Comptes rendus*, 202, 1936, p. 2075.

Afin de permettre la comparaison des perturbations apportées à la vitesse de cristallisation du borate de zinc par trois oxydes d'effet très différent, à la concentration de 0,5 pour 100 chacun, nous avons reproduit sur la figure ci-dessous, les courbes correspondant au borate de zinc et à ce



même verre additionné, soit d'oxyde de sodium, soit d'oxyde de calcium, soit d'oxyde de manganèse.

2° *Concentration de l'oxyde.* — En incorporant au borate de zinc des teneurs variables d'oxydes de sodium, calcium, magnésium, chrome et manganèse, nous avons pu observer qu'en général le ralentissement (ou l'accélération) de la dévitrification augmentait en même temps que la concentration de l'oxyde ajouté. Toutefois, la relation n'est pas linéaire et les effets produits par d'égales additions d'oxyde diminuent d'importance au fur et à mesure que la concentration augmente. Il peut même arriver,

lorsque l'oxyde envisagé abaisse considérablement la vitesse de cristallisation du borate (oxydes de fer et de chrome) que des teneurs de l'ordre de 0,05 pour 100 soient à peine moins efficaces que celles de 0,5 pour 100.

3° *Degré d'oxydation de l'oxyde.* — Comme on le sait, une perle de borate contenant l'oxyde d'un métal susceptible de présenter plusieurs degrés d'oxydation, prend des colorations différentes, attribuables à des oxydes distincts, suivant qu'elle a été fondue en flamme oxydante ou réductrice. Or on a constaté que la vitesse de cristallisation de cette perle dépendait, en général, dans une très large mesure, du degré d'oxydation du métal ajouté. C'est ainsi que les oxydes de cérium, uranium et tungstène, n'ayant que très peu d'influence sur la cristallisation du borate de zinc après fusion en flamme oxydante, la diminuent considérablement après fusion en flamme réductrice.

Des recherches actuellement en cours tendent à généraliser, dans le domaine des autres verres, les observations précédentes relatives au borate de zinc; elles devront également contribuer à éclaircir le mécanisme de l'action catalytique des oxydes.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Sur les oscillations de la chaîne carbonée de la molécule de benzène.* Note de MM. **Pierre Donzelot** et **Jean Barriol**, présentée par M. Robert Lespieau.

Nous allons essayer de prévoir les fréquences fondamentales du spectre du benzène dues aux oscillations de la chaîne carbonée; les études de cette molécule par les procédés de diffraction de rayons X ou d'ondes électroniques ont permis de conclure à une structure approximativement plane de la molécule, que l'on peut supposer disposée suivant un hexagone régulier. Nous nous limiterons aux oscillations affectant la chaîne carbonée, oscillations peu couplées vraisemblablement avec celles intéressant les liaisons C — H à cause des différences d'ordre de grandeur. Nous avons seulement à considérer le cas d'oscillations symétriques par rapport au centre, si nous envisageons les fréquences permises du spectre de diffusion. Il en résultera que le déplacement plan quelconque répondant à ces conditions sera déterminé par la connaissance de six paramètres; nous choisirons les composantes des déplacements des noyaux le long des côtés de l'hexagone. Écrivons qu'il existe une oscillation d'ensemble de fréquence n; en désignant par f' un coefficient de proportionnalité des forces aux accéléra-

tions, nous obtenons les équations de la forme

$$mn^2 u = f'\left(u + v' - \frac{u' + v}{2}\right) \quad \text{et} \quad mn^2 v' = f'\left(u + v' - \frac{u' + v}{2}\right),$$

les autres équations s'en déduisant par permutation (m est la masse oscillante rapportée à la molécule-gramme, et n est la fréquence en cm^{-1}).

Ces équations conduisent à

$$u = v', \qquad u' = v'', \qquad u'' = v.$$

Et nous obtenons le système définitif en utilisant uniquement les trois paramètres u, v et w

$$mn^2 u = f'\left(2u - \frac{v + w}{2}\right),$$

$$mn^2 v = f'\left(2v - \frac{w + u}{2}\right),$$

$$mn^2 w = f'\left(2w - \frac{u + v}{2}\right)$$

et par addition

$$(mn^2 - f')(u + v + w) = 0.$$

Nous allons examiner les deux groupes de solutions possibles.

D'une part, $mn^2 - f' = 0$, d'où $n_1^2 = f'/m$, ce qui correspond finalement à $u = v = w$, c'est l'oscillation totalement symétrique.

D'autre part la deuxième solution conduit à $mn^2 u = 5/2 f' u$, et deux autres relations analogues, avec $u + v + w = 0$. L'oscillation que nous pouvons ainsi prévoir aura une fréquence propre, $n_2^2 = 5/2 n_1^2$; et, avec la condition $u + v + w = 0$, il subsiste un certain arbitraire dans le choix des amplitudes et des phases. Nous avons ainsi une oscillation elliptique, qui correspond à une raie dépolarisée du spectre de diffusion.

Nous sommes donc amenés à rechercher dans le spectre de diffusion du benzène deux raies : l'une polarisée et intense de fréquence n_1, l'autre dépolarisée, de fréquence n_2, telle que $n_2 = n_1\sqrt{5/2}$. La raie n_1 est sans ambiguïté la raie 994 du benzène; d'où n_2 calculé = 1571 ce qui correspond à la raie expérimentale 1584 du spectre de diffusion; la différence semble pouvoir s'expliquer par l'influence du couplage dans une oscillation propre intéressant la liaison C-H.

Les mêmes considérations peuvent s'appliquer à la molécule de cyclohexane, et nous conduisent dans ce cas, en choisissant pour n_1 la fréquence intense 800 extrêmement polarisée (d'après Bhagavantam), à prévoir $n_2 = 1264$, dépolarisée. L'expérience donne précisément ce nombre, et la raie est signalée comme dépolarisée (Kohlrausch).

CHIMIE PHYSIQUE. — *Sur les perturbations apportées par l'écrouissage au diagramme dilatométrique des métaux*. Note [1] de M. **Maurice Bonzel**, présentée par M. Léon Guillet.

J'ai étudié précédemment les déformations qui se produisent lors du chauffage des pièces métalliques déformées à froid [2]. J'ai constaté qu'il était parfois possible de supprimer ces déformations et que cette possibilité était liée aux perturbations apportées par l'écrouissage au diagramme dila-

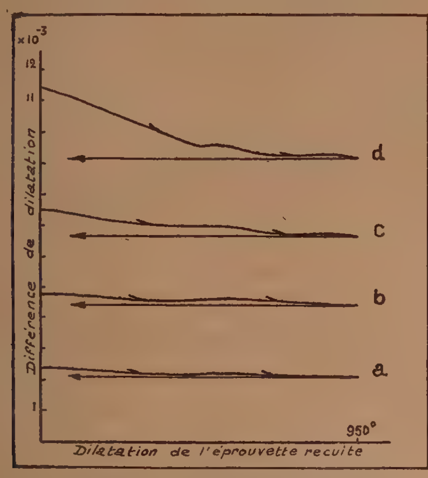


Fig. 1. — Diagrammes dilatométriques différentiels entre éprouvettes écrouies et éprouvettes recuites. Acier inoxydable à 18 % de chrome et 8 % de nickel.

a, allongement de l'éprouvette écrouie de 10 % par traction; *b*, allongement de l'éprouvette écrouie de 20 % par traction; *c*, allongement de l'éprouvette écrouie de 35 % par traction; *d*, allongement de l'éprouvette écrouie de 130 % par tréfilage.

Fig. 2. — Diagrammes dilatométriques différentiels entre éprouvettes écrouies et éprouvettes recuites. Acier au carbone simple (C : 0,73 — Mn : 0,60).

a, allongement de l'éprouvette écrouie de 5 % par traction; *b*, allongement de l'éprouvette écrouie de 10 % par traction; *c*, allongement de l'éprouvette écrouie de 15 % par traction. *Perlite lamellaire grossière.*

tométrique. De nouvelles recherches m'ont permis d'apporter des précisions sur la nature de ces perturbations.

En opposant dans un dilatomètre différentiel Chèvenard deux éprou-

(1) Séance du 15 février 1937.

(2) *Comptes rendus*, 201, 1935, p. 394.

vettes d'un même métal ayant subi le même traitement thermique, mais dont l'une était en outre allongée d'une quantité variable par traction ou tréfilage, j'ai obtenu des séries cohérentes de diagrammes dont les figures 1 à 3 sont des exemples et qui m'ont permis de tirer les conclusions suivantes :

1° Si l'on considère une masse de métal parfaitement recuit de volume suffisant pour comprendre un assez grand nombre de cristaux, le coefficient de dilatation linéaire moyen au voisinage d'une température donnée est le même dans toutes les directions, et la représentation vectorielle de

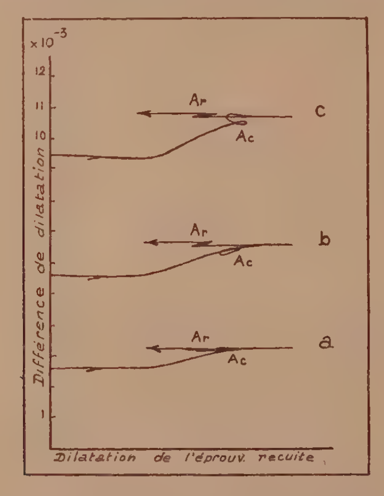


Fig. 3. — Diagrammes dilatométriques différentiels entre éprouvettes écrouies et éprouvettes recuites. Acier au carbone simple (C : 0,73 — Mn : 0,60). *a*, allongement de l'éprouvette écrouie de 5 pour 100 par traction; *b*, allongement de l'éprouvette écrouie de 10 pour 100 par traction; *c*, allongement de l'éprouvette écrouie de 15 pour 100 par traction. *Perlite granulaire fine.*

ce coefficient est limitée par une sphère. Une déformation permanente à froid de cette masse métallique entraîne toujours lors d'un réchauffage ultérieur une anisotropie plus ou moins marquée dans le régime des dilatations. L'effet de cette anisotropie de caractère irréversible s'ajoute à celui de la variation de densité, et se manifeste principalement dans les zones de température qui correspondent à des perturbations importantes du réseau cristallin : recristallisation, modifications allotropiques, etc... C'est à cette influence perturbatrice de la déformation à froid que sont dues la plupart des anomalies accidentelles observées dans les diagrammes dilatométriques lors des premiers cycles thermiques.

2° La façon dont la déformation à froid a été obtenue (traction simple ou tréfilage) a peu d'influence sur le sens et la grandeur des perturbations du type ci-dessus; celles-ci en outre ne sont ni supprimées ni très modifiées lorsqu'on élimine un important volume de matière en enlevant par exemple par meulage les couches externes d'une éprouvette tractionnée, car elles sont une conséquence directe de la déformation des cristaux à froid et de leurs modifications à chaud.

3° Les métaux purs sont généralement peu sensibles à cette influence de l'écrouissage, c'est ainsi que pour le cuivre, le nickel, et le fer pur, les différences de dilatation entre éprouvettes recuites et éprouvettes étirées sont très faibles quel que soit le degré d'étirage.

Les solutions solides et les alliages à plusieurs phases présentent au contraire parfois des réactions intenses qui dépendent de la nature de l'alliage, de son état physicochimique et du degré d'écrouissage.

4° Les aciers au carbone simples et les aciers perlitiques à faible teneur en éléments spéciaux présentent à ce sujet une particularité remarquable :

Lorsque l'on compare les réactions durant un premier chauffage d'éprouvettes tractionnées à celles d'éprouvettes recuites à perlite lamellaire grossière, on observe au cours de la recristallisation une *contraction relative* (dans la direction de leur déformation à froid) des éprouvettes tractionnées par rapport aux éprouvettes recuites. Inversement, lorsque la cémentite est très finement divisée (perlite granulaire très fine ou troostite), on observe au cours de la recristallisation une *dilatation relative* des éprouvettes tractionnées; et l'on peut obtenir à volonté tous les intermédiaires entre ces deux types extrêmes en faisant varier le degré de coalescence de la cémentite.

5° La perturbation irréversible apportée par l'écrouissage au diagramme dilatométrique ne croît pas toujours en même temps que cet écrouissage, mais elle passe au contraire souvent par un maximum pour une certaine valeur de la déformation à froid; il en est notamment ainsi pour les aciers perlitiques à grosses lamelles de cémentite (*fig.* 2).

6° La possibilité de réglage des réactions dilatométriques orientées des aciers perlitiques, en faisant varier la forme de la cémentite eutectoïde, peut être utilisée comme principe fondamental pour la compensation des déformations au chauffage de certaines pièces écrouies.

CHIMIE MINÉRALE. — *Relations entre cyanure, cyanamide et nitrure chez quelques éléments du groupe des terres rares.* Note de MM. **Adrien Perret** et **Albert Banderet**, présentée par M. Georges Urbain.

Nous avons étudié ([1]) quelques réactions de double échange qui se produisent par chauffage sous vide entre certains sels métalliques halogénés et le cyanure de sodium. Elles commencent au voisinage du point de fusion du cyanure de sodium en mélange avec ces sels et consistent alors certainement en une formation transitoire du cyanure du métal primitivement combiné à l'halogène.

La démonstration indirecte de ce fait repose sur les constatations suivantes :

1° Le cyanure de sodium ne donne jamais de cyanamide par chauffage sous vide même en présence de catalyseur.

2° De nombreux cyanures anhydres ([2]) dont LiCN et ceux des éléments alcalino-terreux y compris zinc et cadmium se décomposent en donnant de la cyanamide dans le domaine des températures comprises entre 400 et 800° C.

Cette réaction permet d'étudier l'action de la température sur les cyanures, dont l'obtention à l'état anhydre n'a pas encore pu être réalisée.

L'application de ces réactions de double échange au cas des éléments du groupe des terres rares nous a paru présenter l'avantage de définir non seulement le domaine d'existence de leurs cyanures, mais encore de mettre en évidence le rôle de la température sur l'affinité intramoléculaire de l'azote pour le métal dans la cyanamide. Les valeurs très élevées de la chaleur de nitruration de ces métaux font attendre une transformation en nitrure facile à provoquer de tous leurs composés non oxygénés contenant de l'azote.

Nous avons opéré avec les chlorures de lanthane, cérium et néodyme. Ces sels utilisés à l'état anhydre sont broyés avec les quantités stœchiométriques de cyanure de sodium et chauffés sous vide durant 9 heures. Nous avons opéré en présence de poudre de fer comme catalyseur et également en son absence.

Les réactions observées sont conformes aux schémas

(1) $$MeCl^3 + 3\,NaCN \rightarrow Me(CN)^3 + 3\,NaCl,$$

(2) $$2\,Me(CN)^3 \rightarrow Me^2(NCN)^3 + 3\,C,$$

(3) $$Me^2(NCN)^3 \rightarrow 2\,MeN + 3\,C + 1/2\,N^2.$$

([1]) *Comptes rendus*, **196**, 1933, p. 268; **197**, 1933, p. 764.

([2]) *Helv. Chimica Acta*, **15**, 1932, p. 1165; *Bull. Soc. Chim.*, 5e série, **3**, 1936, p. 349; 5e série, **3**, 1936, p. 958.

Les deux premières réactions se produisent simultanément, par contre la troisième ne devient appréciable qu'à partir d'une centaine de degrés au dessus de la température où débutent les deux autres.

Les valeurs de nos dosages de cyanamide ne correspondent pas à des états d'équilibre réversibles, mais aux états stationnaires obtenus après des durées de chauffage égales. D'ailleurs nous avons observé que la température agit beaucoup plus efficacement pour les modifier que l'augmentation du temps de chauffage. L'arrêt de la transformation dépend surtout du ralentissement de la diffusion par suite de la diminution graduelle de fluidité de la masse saline.

Nous avons obtenu les valeurs numériques suivantes :

1. *Chlorure de lanthane* (Début de réaction vers 410°C.).

Température (°C.).	$La^2(NCN)^3$ avec catalyseur (%).	Rendement (%).	$La^2(NCN)^3$ sans catalyseur (%).	Rendement (%).
450	10,0	20,4	–	–
500	26,6	52,7	17,4	34,1
550	17,9	35,4	–	–
600	7,3	14,4	9,1	18,0

2. *Chlorure de cérium* (Début de réaction vers 320°C.).

Température (°C.).	$Ce^2(NCN)^3$ avec catalyseur (%).	Rendement (%).	$Ce^2(NCN)^3$ sans catalyseur (%).	Rendement (%).
420	17,6	34,6	0,47	0,92
500	31,2	61,5	14	27,6
600	15,9	31,4	–	–
650	5,3	10,4	–	–
700	0	0	10,2	20,0

3. *Chlorure de Néodyme.*

Température. (°C.).	$Nd^2(NCN)^3$ avec catalyseur. (%).	Rendement. (%).	$Nd^2(NCN)^3$ avec catalyseur. (%).	Rendement. (%).
350	1,03	2	0,2	0,41
500	19,1	37,2	12,2	23,5
650	24,5	47,7	23,6	46,1
700	6,4	12,5	7,7	15,0

Les trois séries de valeurs démontrent l'existence de la filiation attendue, car la teneur en nitrure (³) augmente dans la mesure où celle de la cyanamide diminue. Sa mise en évidence dès 500° se fait aisément par la mesure du volume de l'azote libéré.

(³) On pourrait voir dans le Mémoire de Vournasos (*Bull. Soc. Chim.*, 4e série, 9, 1911, p. 506) une antériorité dans la question de la formation des nitrures de terres

Le rôle du fer divisé, additionné aux mélanges de sels est bien de nature catalytique. En effet la vitesse de formation de la cyanamide est toujours la plus grande en sa présence et en outre cette même action se produit également dans l'évolution de $Me^2(NCN)^3$ en nitrure.

L'essentiel de cette étude est d'apporter une démonstration nette de l'instabilité des cyanamides, lorsque l'affinité du métal pour l'azote est très grande (4).

CHIMIE MINÉRALE. — *Sur la précipitation du sulfate de cuivre par la soude.* Note de M. **Max Geloso** et Mlle **Éveline Giordano-Orsini**, présentée par M. Georges Urbain.

La précipitation des sels métalliques par un alcali devrait théoriquement fournir l'hydroxyde correspondant. Cependant, dans le cas des sels de cuivre en particulier, la quantité de base nécessaire pour obtenir une précipitation complète est nettement inférieure à celle qu'exigerait la formule stœchiométrique.

Nous avons analysé, par électrolyse, les précipités *partiels* obtenus en versant des quantités de soude, comprises entre 20 et 80 pour 100 de la quantité théorique, et leur avons trouvé, à 1 pour 100 près, une composition constante, correspondant à la formule SO^3, $4CuO$, xH_2O.

Le précipité serait donc le sel basique, tétracuivrique dont l'existence a été nettement mise en évidence par G. Champetier (1) et O. Binder (2).

Par contre, si l'on suit la réaction par la méthode potentiométrique, on observe, à l'air libre, des points d'inflexion (fin de réaction) qui, calculés d'après la quantité de soude versée, correspondraient à un précipité de composition SO^3, $n\,CuO$; n étant toujours un peu supérieur à 4.

---

rares à partir des cyanures. En réalité il n'en est rien, car il s'agit d'une réaction sans parenté avec celles que nous avons étudiées. La nitruration consiste ici en une action directe de l'azote cédé par le cyanure de potassium au cours de sa décomposition thermique sur le métal employé à l'état très divisé.

(4) Cette filiation cyanure et nitrure s'observe également avec les sels d'aluminium, mais nous n'avons jamais obtenu des teneurs en cyanamide d'ordre de grandeur comparable aux valeurs obtenues dans le cas de ces chlorures de terres rares.

(1) *Comptes rendus*, 194, 1932, p. 93.

(2) *Thèse*, Paris, 1935.

C'est ainsi que Britton (³), utilisant une électrode de cuivre, conclut de ses expériences que la nature du précipité dépend de la rapidité avec laquelle est versé l'alcali; sa composition étant toutefois très voisine de celle du sulfate tétracuivrique.

Sermage (⁴) montre que l'usage de l'électrode à quinhydrone ne convient pas à ce genre de dosage. Les potentiels sont longs à s'établir et la quinhydrone s'altère par un contact prolongé avec les sels de cuivre. Il en résulte des points d'inflexion qui semblent dépendre d'un grand nombre de facteurs, sans qu'il soit possible de préciser si ceux-ci agissent sur la réaction elle-même ou sur l'électrode indicatrice.

Devant des résultats aussi contradictoires, nous avons repris cette étude, en utilisant une électrode différente de celles employées par les précédents auteurs. Notre choix s'est porté sur l'électrode de tungstène, qui accuse un saut de potentiel très important (voisin de 200 mv) en passant d'un pH acide à un pH alcalin (⁵). Les mesures étaient suivies à l'aide d'un potentiomètre enregistreur. Nous opérions à l'air libre, la quantité de sel de cuivre à précipiter étant 0,506 mol/mg en général.

Nous avons fait varier la durée des expériences en versant chaque goutte de soude à une cadence régulière comprise entre 6 et 67 secondes. Aux erreurs d'expériences près, nous avons trouvé $n = 4,6$.

La variation de température nous a conduit au même résultat sauf au voisinage de 0°C où le précipité est nettement plus basique. Toutefois, la composition du précipité varie quand la concentration du sulfate de cuivre est changée. En passant de 1,21 mol/mg par litre à 100,05 mol/mg par litre — le prélèvement étant dans tous les cas de 250$^{cm^3}$ — n diminue assez régulièrement de 5,6 à 4,0.

Ainsi les contradictions observées au cours des recherches sur ce dosage ne semblent pas tenir à la nature de l'électrode. La question se pose alors de savoir si une partie de la soude versée ne serait pas utilisée à neutraliser un acide étranger, qui dans ce cas, ne pourrait être que l'acide carbonique dissous.

Or la première constante de dissociation de cet acide ($K_1 = 3,0 \times 10^{-7}$) indique un pH = 6,52 pour la demi-neutralisation.

Par ailleurs, il résulte de considérations théoriques et expérimentales

(³) *Journ. Chem. Soc.*, 2, 1925, p. 148.

(⁴) *Diplôme d'études supérieures*, Paris, 1933.

(⁵) Holt et Kohlenberg, *Trans. Am. Electrochem. Soc.*, 57, 1930, p. 361.

que ce pH est atteint, au cours de nos expériences, lorsque 98 pour 100 environ de la soude ont été utilisés. On conçoit que le réactif puisse alors se partager entre l'acide et le sel de cuivre, ce qui entraîne un résultat erroné lorsqu'on calcule la composition du précipité d'après la quantité de soude versée.

En fait, comme vérification, nous avons effectué un certain nombre de dosages potentiométriques en atmosphère décarbonatée (air purifié, oxygène, azote) et dans tous les cas, nous avons retrouvé pour n, exactement la valeur 4 correspondant au sulfate tétracuivrique.

Ce résultat exclut toute idée d'absorption par le précipité ou de réactions entre les phases solide et liquide. Il explique les anomalies qui existaient entre les résultats obtenus par les différents auteurs.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Déshydratation sulfurique du divinylglycol. Transposition du type hydrobenzoïnique avec migration du radical vinyle.* Note [1] de M. **Marc Tiffeneau** et **Paul Weill**, présentée par M. Auguste Béhal.

La transposition hydrobenzoïnique consiste, comme on le sait, dans la formation de diarylacétaldéhydes $(Ar)^2CH-CHO$ au cours de la déshydratation des hydrobenzoïnes Ar — CHOH — CHOH — Ar.

Nous avons montré [2] que l'on peut, dans cette transposition, en recourant au phénylvinylglycol, remplacer l'un des phényles par un radical vinyle, ces radicaux ayant l'un et l'autre le même caractère attracteur d'électrons :

$C^6H^5-CHOH-CHOH-CH=CH^2$ (Phénylvinylglycol.) $\xrightarrow[a]{-H^2O}$ $CHO-C(C^6H^5)=CH-CH^3$ (Phénylcrotonaldéhyde.) $\xleftarrow[b]{-H^2O}$ $C^6H^5-CHOH-CHOH-CH=CH^2$. (Phénylvinylglycol.)

Cette réaction est d'autant plus caractéristique du rôle joué par le radical vinyle que la même déshydratation, réalisée avec le glycol saturé correspondant, le phényléthylglycol, conduit à la formation de phényl-1-butanone-2, sans transposition [3], mais probablement par une déshydra-

[1] Séance du 8 février 1937.

[2] Tiffeneau et Weill, *Comptes rendus*, 200, 1935, p. 1217.

[3] J. Lévy et Dvoleitzka-Gombinska, *Bull. Soc. Chim.*, 49, 1931, p. 1773.

tation du type vinylique

$$C^6H^5-CHOH-CHOH-C^2H^5 \xrightarrow{-H^2O} C^6H^5-CH^2-CO-C^2H^5.$$

Toutefois il n'a pas encore été possible de décider si, dans la déshydratation du phénylvinylglycol, l'hydroxyle éliminé est celui voisin du phényle (a) ou du vinyle (b) et par conséquent si le radical migrateur est inversement le phényle (b) ou le vinyle (a).

Avant de chercher à résoudre ce problème, il était intéressant d'étudier la déshydratation d'un glycol tel que le divinylglycol ([1]) afin de voir si les radicaux vinyle se comportent comme des phényles en orientant la réaction vers le type hydrobenzoïnique.

Nous avons constaté que, vers 100-120°, avec SO^4H^2 dilué à 50 pour 100, on obtient avec un rendement de 40 à 50 pour 100 des produits suffocants donnant les réactions des aldéhydes non saturés et distillant à la pression ordinaire entre 140°-150° avec deux points fixes l'un vers 142° (D_4^{19} : 0,905; n_D^{19} : 1,3815), l'autre vers 140° (D_4^{19} : 0,913; n_D^{19} : 1,489) ([2]). Il n'a pas été possible même en recourant aux réactifs habituels des aldéhydes (SO^3NaH, semicarbazide, etc.) d'isoler de ces diverses fractions un produit rigoureusement défini; toutefois leur réduction catalytique effectuée sur le nickel de Raney a permis d'établir la structure des aldéhydes formés. Suivant qu'on réalise cette réduction avec deux ou six atomes d'hydrogène, on isole, dans le premier cas, l'aldéhyde éthylcrotonique $CH^3-CH=C(C^2H^5)CHO$ et, dans le second, l'alcool diéthyléthylique $(C^2H^5)^2CH-CH^2OH$.

L'aldéhyde éthylcrotonique a été identifié par sa semicarbazone (F. 210°) ainsi que par son produit d'oxydation argentique, l'acide éthylcrotonique liquide. Tous deux, semicarbazone et acide, ont été comparés avec ceux fournis par le même aldéhyde (Éb. 132-134°, D_4^{17} : 0,880; n_D^{17} : 1,450) préparé synthétiquement en condensant l'éthanal et le butanal, puis en déshydratant l'aldol formé ($Éb_{20}$: 102-104°) par chauffage avec une trace d'iode

$$CH^3(CH^2)^2CHO \xrightarrow{+CH^3CHO} CH^3-CHOH-CH(C^2H^5)-CHO$$
$$\xrightarrow{-H^2O} CH^3-CH=C(C^2H^5)CHO.$$

Quant à l'acide éthylcrotonique ($Éb_{15}$: 103-104°; n_D^{15} : 1,458; D_4^{15} : 0,987. Anilide F. 94°) nous l'avons identifié avec l'acide préparé par enlèvement de HBr à l'acide α bromodiéthylacétique.

L'alcool diéthyléthylique a été identifié avec un produit préparé synthétiquement, non seulement par ses constantes propres (Éb. 145-146°) et par le point de fusion de

---

([1]) Par déshydratation catalytique, Urion (*Ann. Chim.* 11e série, **1**, 1934, p. 5) a obtenu le cyclopenténylformadéhyde par un mécanisme non encore élucidé.

([2]) Ces produits ne contiennent pas le cyclopenténylformaldéhyde d'Urion et ne se transforment pas en cet aldéhyde par catalyse sur Al^2O^3 à 280°.

son phtalate acide (F. 54°), mais aussi par son produit d'oxydation permanganique, l'acide diéthylacétique, dont l'amide fond à 112° (au bloc) et l'anilide à 127°,5.

Ainsi, dans sa déshydratation sulfurique, le divinylglycol dont la structure est linéaire se transforme en aldéhydes diéthyléniques dont la structure est ramifiée et parmi lesquels l'aldéhyde vinylcrotonique est prépondérant

$$CH^2{=}CH{-}CHOH{-}CHOH{-}CH{=}CH^2 \xrightarrow{-H^2O} \begin{matrix} CH^3{-}CH \\ CH^2{=}CH \end{matrix}\!\!>\!C{-}CHO.$$

Il y a donc eu transposition du type hydrobenzoïnique et le radical vinyle s'est comporté comme le phényle, non seulement en imposant la déshydratation suivant le mode hydrobenzoïnique, mais encore en émigrant de préférence à l'atome d'hydrogène voisin. La seule particularité à noter dans cette tranposition nouvelle est le déplacement de la double liaison dont on connaît d'ailleurs divers autres exemples dans des réactions transpositrices (6) ou non (7).

Conclusions. — Le divinylglycol, déshydraté par chauffage avec SO^4H^2 à 50 pour 100, fournit principalement l'aldéhyde vinylcrotonique par suite d'une transposition du type hydrobenzoïnique avec migration d'un des radicaux vinyle et déplacement d'une double liaison. Dans cette déshydratation transpositrice du divinylglycol, le radical vinyle se comporte exactement comme le radical phényle dans la transposition de l'hydrobenzoïne.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Synthèse d'acides aminosulfoniques, en série grasse. Introduction à leur étude électrochimique.* Note (1) de M. **Paul Rumpf**, présentée par M. Georges Urbain.

Depuis le travail de N. Bjerrum (2), on a de sérieuses raisons d'admettre (3) qu'au point isoélectrique, les acides sulfoniques aminés existent, dans leurs solutions aqueuses, à peu près exclusivement à l'état d'ions

---

(6) Tiffeneau et P. Weill, *loc. cit.*

(7) Wallach et Fleischer, *Lieb. Ann.*, 353, 1907, p. 307; Pummerer et Reindell, *Ber. d. chem. Ges.*, 66, 1933, p. 335.

(1) Séance du 15 février 1937.

(2) N. Bjerrum, *Z. ph. Ch.*, 104, 1923, p. 147.

(3) Voir par exemple P. Rumpf, *La théorie de l'ion amphotère*, Paris, 1936.

amphotères, c'est-à-dire de particules qui portent des charges de signes opposés, résultant d'une double ionisation. Un titrage électrométrique à la soude fait donc reculer l'ionisation de la fonction amine et permet de mesurer la constante de dissociation K_{II} de l'ion ammonium correspondant.

L'étude de la taurine $H^3N^+.(CH^2)^2.SO^{3-}$ et celle des acides ortho, méta et para-aminobenzènesulfoniques avaient montré que le voisinage d'un groupement sulfo, dans la même molécule, diminue fortement la basicité des fonctions amine. Ainsi s'expliquent certaines propriétés des colorants sulfonés et notamment la réaction de Schiff (4). J'ai cherché à déterminer quantitativement cette influence entre groupements, par l'étude d'un cas particulièrement simple : celui des aminoacides gras du type $H^3N^+.(CH^2)^n.SO^{3-}$, pour n égal à 1, 2, 3, 5 et 10.

On obtient les acides sulfoniques, aminés en α, par action de l'ammoniaque, ou de solutions aqueuses d'amines, sur les dérivées bisulfitiques des aldéhydes (5). La meilleure synthèse de la taurine s'effectue à partir de monoéthanolamine (6). Les homologues supérieurs n'étaient guère connus. Leur préparation a fourni l'occasion de mettre au point plusieurs méthodes générales.

a. Vers 80°, les imines dont le cycle renferme 2 ou 3 carbones sont ouvertes par les solutions aqueuses d'acide sulfureux et donnent des acides β- et γ-aminoalcoylsulfoniques. Le cycle à 5 carbones ne s'ouvre pas dans les mêmes conditions.

b. J'ai répété, sur le γ-oxypropanesulfonate de sodium (préparé à partir d'alcool allylique et de bisulfite), la synthèse imaginée par Kolbe (7) pour la taurine. Le chlorure d'acide chloré $Cl.(CH^2)^3.SO^2Cl$ bout à 124-127°, sous 15mm, et s'hydrolyse très difficilement; l'acide chloré correspondant fournit des dérivés aminés, par action de l'ammoniaque ou des amines, de préférence en tube scellé.

c. Les amides et les phtalimides, correspondant à des amines halogénées, se dissolvent peu à peu dans les solutions aqueuses concentrées de sulfites pour donner des amides sulfonées dont la saponification fournit les amines sulfonées, avec un rendement excellent. La ε-chloro-*n*-amylbenzamide, obtenue à partir de pipéridine (8), et la γ-bromopropylphtalimide (9) m'ont permis de préparer les acides ε-aminopentane supprimer l'intervalle sulfonique (F. 310° env.) et γ-aminopropane sulfonique (F. 292°).

Poudres blanches, bien cristallisées, très solubles dans l'eau, très peu solubles dans l'alcool.

---

(4) P. Rumpf, *Ann. de Ch.*, 11e série, 2, 1935, p. 327.

(5) H. J. Backer et H. Mulder, *Rec. trav. ch. P.-B.*, 52, 1933, p. 454; 53, 1924, p. 1120.

(6) Frank Cortese, *J. Amer. Chem. Soc.*, 58, 1936, p. 191.

(7) *Lieb. Ann.*, 122, 1862, p. 42.

(8) J. v. Braun et A. Steindorff, *Ber. d. chem. Ges.*, 38, 1905, p. 2336.

(9) S. Gabriel et J. Weiner, *Ber. d. chem. Ges.*, 21, 1888, p. 2669.

On peut ainsi obtenir d'importantes quantités d'acides aminoalcoylsulfoniques, à partir d'une imine quelconque ou de n'importe quel dibromure de polyméthylène, sans passer par l'intermédiaire des sels d'amines halogénées, souvent difficiles à purifier, ou des thiazolines dont l'oxydation par le brome s'effectue avec un faible rendement.

d. Les acides gras sulfonés en $\beta, \gamma, \delta, \ldots$ (préparés à partir des acides halogénés correspondants) peuvent être traités par l'acide azothydrique, vers 45°, dans l'acide sulfurique concentré, en présence de chloroforme : le carboxyle est remplacé par un groupement aminé. C'est une méthode générale de préparation des amines ([10]). J'ai vérifié que l'acide β-sulfopropionique fournit ainsi de la taurine. L'acide χ-aminé, $H^3N^+.(CH^2)^{10}.SO^{3-}$, a été obtenu à partir de l'acide χ-bromoundécanoïque (F. 52°), avec un rendement de l'ordre de 45 pour 100. Peu soluble dans l'alcool et dans l'eau froide. F. déc. 340° env., au bloc.

Pour le titrage, j'ai utilisé une électrode de verre qui fonctionnait correctement en milieu alcalin, des solutions décinormales d'aminoacides, et de la soude normale (sauf dans le cas du dérivé en C^{10}, trop peu soluble, étudié en solution N/500).

La facilité de cyclisation des composés pentaméthyléniques permettait d'envisager, dans les solutions aqueuses d'acide ε-aminopentanesulfonique, la possibilité d'un rapprochement des groupements ionisés et une influence électrochimique mutuelle particulièrement nette. Il n'en est rien : la sulfamide se comporte comme un monoacide fort; la basicité des groupements $-NH^2$ se manifeste déjà en α, et augmente régulièrement lorsque croît le nombre des $-CH^2-$ intercalaires, pour dépasser même très vite la basicité de l'ammoniac ($-\log K_H = 9{,}27$), et celle des amines grasses primaires (10,6 environ). Les valeurs trouvées suivent approximativement la relation linéaire empirique de Mac Innes

$$-\log K_H = -\log K_{H\infty} - \frac{C}{d},$$

d étant le nombre de $-CH^2-$. La constante C est ici très élevée, supérieure à 6 unités; $-\log K_{H\infty}$ est voisin de 12.

Si l'on passe de l'aniline ($-\log K_H = 4{,}65$) à l'acide phénylaminométhanesulfonique, la basicité de la fonction amine disparaît presque complétement, comme je l'avais indiqué au cours d'un précédent travail ([10]).

Seuls les acides α-aminosulfoniques qui dérivent du formol sont assez

---

([10]) M. Oesterlin, *Z. f. angew. Ch.*, 45, 1932, p. 536.

stables pour se prêter à un titrage potentiométrique précis. Même dans ce cas, au dessus de pH 5,5, l'acide complexe se décompose, plus ou moins vite, en aldéhyde, amine et acide sulfureux. Le pH du milieu s'élève. On atteint, après quelques minutes, le second palier de dissociation de l'acide sulfureux (vers pH 7); cet acide réagit ensuite lentement avec l'aldéhyde libéré.

	$H^3N^+.(CH^2)^n.SO^{3-}$.					
n.	0.	1.	2.	3.	5.	10.
— log K_H....	vers 1	5,75 (±0,05)	9,20	10,05	10,95	11,35 (±0,2)

	$H^3N^+.CH(CH^3).SO^{3-}$.	$C^6H^5.NH^{2+}.CH^2.SO^{3-}$.
— log K_H..........	5,8 environ	1,4 environ

CHIMIE ORGANIQUE. — *Déshydratation catalytique et acide du divinylglycol.* Note de MM. **Edmond Urion** et **Ernest Baum**, présentée par M. Robert Lespieau.

L'un de nous a montré [1] que la déshydratation du divinylglycol par catalyse sur alumine à 320° conduit à un aldéhyde cyclique non saturé, le cyclopenténylformaldéhyde (semi-carbazone, F. 209°), avec un rendement de 62 pour 100 par rapport au glycol. Cette curieuse réaction a été interprêtée comme résultat de la cyclisation d'un glycol vinylique isomère, intermédiairement formé

$$\begin{array}{l} CH^2{=}CH{-}CHOH \\ \qquad\quad | \\ CH^2{=}CH{-}CHOH \end{array} \xrightarrow{Al^2O^3 \text{ à } 320^\circ} \begin{array}{l} CH^2{-}CH \\ | \\ CH^2{-}CH^2 \end{array}\!\!\!>C{-}CHO.$$

MM. Tiffeneau et Weill, reprenant la déshydratation de ce même glycol en le chauffant avec l'acide sulfurique à 50 pour 100, ont obtenu, à la suite d'une transposition hydrobenzoïnique, des produits aldéhydiques où domine l'aldéhyde vinylisocrotonique

$$\begin{array}{l} CH^2{-}CH \\ CH^2{=}CH \end{array}\!\!\!>C{-}CHO.$$

Ils ont émis l'hypothèse que cet aldéhyde devait représenter un stade intermédiaire dans la déshydratation catalytique, dont le mécanisme

---

[1] Urion, *Comptes rendus*, **190**, 1930, p. 1512, et *Ann. Chim.*, 2e série, **1**, 1934, p. 5.

consisterait alors en une transposition hydrobenzoïnique ([2])

$$\begin{array}{l} CH^2{=}CH-CHOH \\ \quad\quad\quad\quad | \\ CH^2{=}CH-CHOH \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} CH^3-CH \\ CH^2{=}CH \end{array}\!\!\!>C-CHO \rightarrow \begin{array}{l} CH^2-CH \\ | \\ CH^2-CH^2 \end{array}\!\!\!>C-CHO.$$

Nous avons entrepris, sans succès, de vérifier expérimentalement cette hypothèse. Suivant la méthode indiquée par MM. Tiffeneau et Weill, nous avons préparé le mélange d'aldéhydes riche en aldéhyde vinylisocrotonique et nous l'avons fait passer lentement sur alumine à 320°. Le produit recueilli s'est révélé non transformé. L'identité avec le produit de départ a été établie par une étude comparative des semicarbazones qui en dérivent respectivement. Toutes deux, après recristallisations dans l'alcool, présentent un point de fusion instantané au bloc Maquenne à 170°, et il n'y a pas d'abaissement lors du mélange.

Les mécanismes de déshydratation dans les deux cas semblent donc différents. Nous avons envisagé successivement plusieurs explications possibles dans ces processus différents :

1° La déshydratation par les acides concentrés doit se faire par cracking des esters.

Par contre la déshydratation par ébullition avec les acides étendus doit correspondre à une catalyse par les ions H^+, ce qui la rapprocherait de la déshydratation catalytique sur alumine.

Cette façon de voir était appuyée par l'étude de la déshydratation de glycols secondaires-tertiaires due à MM. Tiffeneau et Orékhoff : l'acide sulfurique étendu et chaud élimine l'hydroxyle tertiaire, le plus mobile c'est-à-dire facile à ioniser, tandis que l'acide concentré déshydrate par enlèvement de l'oxhydrile secondaire, le plus facile à éthérifier ([3]).

Nous espérions donc, grâce à l'acide sulfurique étendu à 2 pour 100 pris à l'ébullition, transformer le divinylglycol en aldéhyde cyclique, comme sur alumine.

Nous avons établi expérimentalement que la déshydratation par un acide concentré, consiste bien en cracking d'un ester. Dans le cas de l'acide formique, on isole en effet un mélange de mono et de diformine du divinylglycol, contenant une forte proportion de monoformine.

Par contre l'ébullition avec l'acide sulfurique étendu à 5 pour 100 ou à 2 pour 100 conduit avec un faible rendement à l'aldéhyde vinylisocroto-

---

([2]) TIFFENEAU, *Bull. Soc. Chim.*, 5e série, 3, 1936, p. 1968.

([3]) TIFFENEAU et ORÉKHOFF, *Bull. Soc. Chim.*, 4e série, 49, 1931, p. 1638 et suiv.

nique seulement, caractérisé par sa semicarbazone fondant à 170°; c'est-à-dire qu'on obtient le même résultat qu'avec l'acide plus concentré.

2° Cette première explication ayant échoué, nous avons envisagé l'influence de la température sur la nature du produit déshydraté :

Nos expériences ont été positives et nous ont permis de conclure : la déshydratation réalisée à température relativement basse, inférieure à 200° par exemple, conduit à l'aldéhyde vinylisocrotonique; à température supérieure à 200° on obtient l'aldéhyde cyclopenténique, et ceci quel que soit le réactif employé.

C'est ainsi que, par chauffage rapide du divinylglycol avec l'acide sulfurique à 8-10 pour 100 en tube scellé et vers 200-210°, on obtient un liquide goudronneux d'où l'on retire par entraînement à la vapeur d'eau une faible quantité d'huile à réaction aldéhydique, et dont la semicarbazone, purifiée par cristallisation, fond à 209°. Le mélange avec un échantillon de semicarbazone obtenue à partir de l'aldéhyde cyclopenténylformique ne présente pas d'abaissement de point de fusion.

D'autre part la formine préparée au préalable et isolée par distillation a été crackée par passage sur pierre ponce à 300-320°. Une des fractions extraites du produit de réaction donne la même semi-carbazone F : 209°.

Pour compléter cette recherche nous avons essayé de déshydrater catalytiquement le glycol sur alumine, mais à une température inférieure à 200°, espérant pouvoir caractériser parmi les produits de transformation l'aldéhyde vinylisocrotonique. Mais l'essai a échoué : dans ces conditions de température le rendement de la déshydratation est pratiquement nul, même lorsqu'on la réalise sous une pression très réduite, de 7^{mm} à 8^{mm} de Hg.

En somme on peut penser que l'aldéhyde vinylisocrotonique qui s'obtient à partir du glycol à température relativement basse représente son produit normal de déshydratation. Quant à l'aldéhyde cyclique, il est logique d'admettre qu'il résulte de la déshydratation d'un glycol isomère intermédiairement formé par effet thermique, ce qui correspond à l'interprétation déjà donnée par l'un de nous.

Nos recherches actuelles ont pour but de préciser davantage la nature de ce glycol intermédiaire.

MINÉRALOGIE. — *Courbes de dispersion des pouvoirs réflecteurs de quelques tellurures naturels.* Note [1] de M. **R. Martin.**

M. P. Fastré [2] a déterminé précédemment les pouvoirs réflecteurs de quelques tellurures naturels pour trois longueurs d'onde seulement $465^{m\mu}$, $527^{m\mu}$ et $589^{m\mu}$, par la méthode photoélectrique de M. J. Orcel [3]. J'ai repris l'étude des échantillons examinés par M. Fastré, à l'aide d'un dispositif quelque peu modifié, en vue d'étendre les courbes de dispersion des pouvoirs réflecteurs de ces minerais vers les grandes longueurs d'onde. D'autre part j'ai pu accroître la sécurité des mesures en cherchant à éliminer toutes les causes d'instabilité.

Les modifications apportées à l'appareil de mesure sont les suivantes :

1° la lampe amplificatrice est une triode Philips (n° 4060), alimentée sous une tension plaque de 10 V; la caractéristique de plaque présente une partie rectiligne pour des tensions de grille allant de — 0,6 V à 0 V; le coefficient d'amplication obtenu est d'environ 220;

2° la cellule photo-électrique est une cellule Philips à vide poussé, à alliage de cæsium, d'une sensibilité de 20 μ A/Lm.

L'isolement des circuits a été particulièrement soigné, principalement le tronçon reliant la cellule à la grille de la triode. L'isolant employé est le soufre. L'atmosphère de la cage de l'amplicateur est desséchée à l'aide de P^2O^5.

Les mesures ont été effectuées conformément aux indications de M. Orcel [3]; en particulier, la direction de la vibration incidente était toujours parallèle au plan de symétrie du prisme de l'illuminateur. La proportionnalité des déviations aux flux a été vérifiée avant chaque série de mesures en appliquant la loi de Malus :

$$I_t = K \cos^2 \alpha.$$

I_t étant intensité de la lumière qui a traversé l'analyseur du microscope, et α l'angle compris entre la direction de la vibration rectiligne réfléchie par un minéral isotrope peu absorbant et la direction de la section principale de l'analyseur du microscope; K est une constante.

---

(1) Séance du 15 février 1937.

(2) *Comptes rendus*, 196, 1913, p. 630.

(3) *Comptes rendus*, 185, 1927, p. 1055-1057; *Bull. Soc. fr. Min.*, 53, 1930, p. 326.

Résultats. — Le silicium a été utilisé comme étalon secondaire pour les tellurures. J'ai déterminé à nouveau sa courbe de dispersion, en utilisant la blende comme étalon primaire; l'objectif avait un grossissement de 13. La courbe obtenue diffère quelque peu de celle qui a été publiée par M. J. Orcel ([4]), mais l'écart maximum qui s'observe dans le bleu et le violet n'excède pas 5 pour 100 en valeur relative.

En partant de ces nouvelles données, j'ai obtenu les résultats indiqués dans le tableau ci-dessous; pour les tellurures anisotropes j'ai noté les valeurs extrêmes du pouvoir réflecteur; pour la hessite les chiffres correspondent à une moyenne statistique ([5]). L'objectif employé avait un grossissement propre de 41. On peut admettre que ces valeurs sont déterminées avec une limite d'erreur relative de 2 pour 100.

On voit d'après ces résultats que la petzite, la coloradoïte, et la nagyagite présentent la dispersion normale; la dispersion est anormale pour la calavérite et la sylvanite. Quant à la hessite, son pouvoir réflecteur est sensiblement le même pour toutes les longueurs d'onde.

λ (mμ).		440.	480.	520.	560.	600.	640.	680.	720.
Silicium		45,5	41,3	39,0	37,6	36,5	35,6	34,7	33,8
Petzite		43,0	41,3	40,1	39,0	38,0	37,3	36,8	36,4
Coloradoïte		39,9	39,3	38,7	38,1	37,4	36,6	35,8	35,0
Nagyagite	R_g	49,2	46,6	44,9	43,4	42,1	40,7	39,4	38,0
	R_p	43,1	42,0	41,1	40,3	39,4	38,5	37,7	36,8
Sylvanite	R_g	61,9	62,6	63,2	63,9	64,6	65,1	65,5	65,8
	R_p	57,2	58,0	58,9	59,7	60,5	61,2	61,8	62,2
Calavérite	R_g	65,3	66,9	68,2	69,2	70,0	70,0	71,0	71,3
	R_p	57,8	60,3	62,4	63,8	64,4	65,5	66,0	66,3
Hessite (R moy.)		41,5	41,5	41,5	41,5	41,5	41,4	41,3	41,0

MINÉRALOGIE. — *Diffusion sous l'influence de la chaleur de la matière colorante dans les cristaux d'acide phtalique colorés artificiellement.* Note de M. **Paul Gaubert**.

Le bleu d'indophénol, passant dans les cristaux de pipéronal ([1]), obtenus par solidification du magma coloré, peut s'y trouver à l'état de solution

([4]) *Arch. Muséum*, vol. tricent., 6e série, 12, 1935, p. 182.
([5]) *Comptes rendus*, 196, 1933, p. 630.

([1]) P. Gaubert, *Comptes rendus*, 172, 1921, p. 1299.

solide, définie comme je l'ai indiqué autrefois ([2]). Des secteurs de ces cristaux convenablement orientés ont une teinte rouge violacé disparaissant rapidement par suite de la séparation de la matière colorante, sous forme d'inclusions cristallines ayant la même orientation.

Le but de cette Note est de faire connaître un phénomène du même genre, avec cette différence qu'il se produit par élévation de la température.

Les cristaux d'acide phtalique peuvent se colorer pendant leur formation par plusieurs substances organiques ajoutées à l'eau mère ([3]). Obtenus d'une solution bouillante, refroidie à la température ordinaire, ils se présentent en belles lames aplaties suivant g^1(010).

Chauffés sur la platine du microscope, il est facile de suivre les modifications à mesure que la température s'élève. Le mieux est de prendre des lames dont l'épaissseur ne dépasse pas un demi-millimètre et de choisir les plages sans inclusions.

A partir de 120°, il peut se produire des clivages (212) se manifestant par des traits fins sur la face g^1(010). A partir de 150° environ, il se forme :

1° Des inclusions elliptiques, fusiformes ou en bâtonnets, dont l'allongement est parallèle à la trace du clivage (212) sur (010). Elles sont constituées par la matière colorante ayant diffusé dans le cristal et qui se trouve maintenant à l'état amorphe. Elles sont par conséquent beaucoup plus colorées que le cristal examiné en lumière naturelle. Ces inclusions sont plus ou moins nombreuses suivant la quantité du colorant se trouvant dans le cristal; leurs dimensions toujours faibles au début (quelques μ) et leur nombre augmentent à mesure que la température s'élève et aussi avec le temps de chauffe.

2° Des plages plus ou moins régulières, dont le contour dépend des accidents de la surface et de l'intérieur du cristal; plus colorées que ce dernier, elles sont beaucoup plus grandes que les inclusions, mais leur surface dépasse rarement 1/10e de millimètre carré.

La matière colorante sortie par diffusion du réseau cristallin se trouve à l'état amorphe et, avec les substances dont le point de fusion est plus bas

---

([2]) *Comptes rendus,* **167**, 1918, p. 491, et *Revue générale des Sciences*, **37**, 1926, p. 357.

([3]) P. Gaubert, *Comptes rendus,* **142**, 1905, p. 286, et *Bull. Société fr. de Min.*, **28**, 1905, p. 286.

que celui de l'acide phtalique, rouge de méthyle, 165°, vert malachite (oxalate) 158°, il est facile de voir qu'elles sont liquides aussi bien dans les petites inclusions que dans les plages. Il est à remarquer que la diffusion, du moins celle des colorants que j'ai étudiés, rouge de méthyle, rhodamine, fuchsines, safranine, brun Bismark, bleu de méthylène, vert malachite, etc., ne paraît pas liée à leur point de fusion. Le cristal d'acide phtalique seul règle le phénomène et cependant son réseau doit peu se modifier sous l'influence de la chaleur, puisque ses propriétés optiques varient faiblement sous l'action de cette dernière.

Le cristal étant chauffé au voisinage de 175° et ensuite refroidi, le rouge de méthyle des inclusions se solidifie en donnant des cristaux ayant la même orientation.

Dans les plages formées par le même colorant, il se produit, aussi par refroidissement, de petits cristaux prismatiques souvent isolés, ayant la même orientation. Quelquefois, il se forme une autre série de petits cristaux allongés suivant la trace du clivage (212) sur g^1 (010). La diffusion se fait donc comme dans les cristaux de phloroglucine que j'ai étudiés ([4]) mais avec cette différence que la matière colorante, à la suite du refroidissement repasse ici dans le réseau du cristal, au lieu de rester isolée.

Par suite de la diffusion partielle de la matière colorante, la teinte des cristaux d'acide phtalique se modifie entraînant un affaiblissement de la fluorescence provoquée par les rayons ultra violets. Le fait est facile à constater avec les cristaux colorés par la rhodamine.

Dans les cristaux chauffés, les matières colorantes n'ont pas le même degré de stabilité, ainsi le rouge de méthyle s'altère alors que le vert malachite est intact, aussi les cristaux contenant les deux substances, chauffés à 190° ne présentent surtout que la teinte verte.

Il résulte des observations qui précèdent qu'un cristal d'acide phtalique convenablement chauffé et refroidi peut présenter en même temps les caractères d'une solution solide, et ceux d'une syncristallisation de deux substances différentes. Ceux qui sont colorés par le rouge de méthyle mettent le fait en évidence.

Cette diffusion, suivie de solidification, a un grand intérêt au point de vue minéralogique ; elle permet en effet, d'expliquer la présence d'inclusions très fines et orientées dans les cristaux naturels : hypersthène, diallage, labrador et leur schillérisation.

([4]) P. GAUBERT, *Comptes rendus*, 200, 1935, p. 1120.

PÉTROGRAPHIE. — *La thermoluminescence de certaines roches cristallophylliennes et éruptives d'Algérie.* Note [1] de M. **Louis Royer.**

1. Dans la partie du littoral algérien comprise entre le méridien de Cherchel et celui de Bône, on voit affleurer des roches cristallophylliennes et éruptives réparties en massifs et formant une bande discontinue de direction ouest-est. Les principaux massifs sont ceux d'Alger, du Djebel Arous près de Ménerville, de la Grande Kabylie, de la Kabylie de Collo, de Philippeville, du Filfila et de l'Edough.

Parmi les schistes cristallins on trouve essentiellement des phyllades, des schistes satinés, des micaschistes, des amphibolites, des gneiss, des gneiss granulitiques et des cipolins; toutes ces roches sont traversées par des filons de pegmatites, d'aplites et de quartz. Les roches éruptives comprennent surtout des granites et microgranites, tels que ceux de Ménerville, de Collo, du Filfila et de l'Edough ainsi que des roches volcaniques constituées en majeure partie par des rhyolites, des dacites et des andésites.

Or plusieurs auteurs ont fait remarquer que dans leurs termes les plus métamorphiques, micaschistes et gneiss, les roches cristallophylliennes de cette région ont des compositions minéralogique et chimique très voisines de celles des roches éruptives qui affleurent dans leurs voisinages.

Ainsi le gneiss du massif d'Alger a les mêmes paramètres magmatiques que les rhyolites du Djebel Arous; certains gneiss de la Kabylie de Collo sont quasi identiques aux roches intrusives acides que l'on trouve dans leur proximité immédiate [2].

Mais si gneiss et granites présentent souvent dans cette partie du littoral algérien un *air de famille* tel qu'ils tendent à se confondre, il y a néanmoins une propriété qui établit une différence tranchée entre eux : c'est la thermoluminescence.

2. En effet, toute une série de roches cristallophylliennes de cette région émettent une luminescence intense quand on les chauffe, tandis que les roches éruptives ne donnent dans les mêmes conditions soit aucune luminescence, soit une luminescence très faible et de teinte différente.

---

(1) Séance du 15 février 1937.

(2) M. Roubault, *Bulletin du service de la Carte Géologique de l'Algérie*, 2e série, no 10, 1934, p. 238.

Sans entrer dans des détails expérimentaux, je signalerai que, parmi les roches cristallophylliennes autres que les cipolins, seules celles qui contiennent de l'orthose émettent une thermoluminescence verdâtre ; la thermoluminescence dans ces roches semble liée à la présence d'orthose.

On observe cette thermoluminescence verdâtre dans les gneiss de la Grande Kabylie, de la Forêt d'El Maïda, de Bône, de l'Edough, du Filfila, dans les gneiss granitiques du Fort Bab-Azoun, dans la granulite du Cap Blanc, dans les micachistes de la Bouzaréah près d'Alger. C'est une propriété constante des roches cristallophylliennes à orthose de la zone définie ci-dessus.

On retrouve cette même thermoluminescence dans les filons de pegmatites qui traversent ces roches métamorphiques.

Cette thermoluminescence des gneiss et pegmatites subsiste avec la même intensité après que l'on a traité la roche réduite en poudre par l'acide nitrique fumant pendant plusieurs heures ; il est donc évident que l'on ne saurait imputer cette luminescence à des impuretés organiques déposées par les eaux qui circulent dans la roche.

Les amphibolites, les schistes satinés et les phyllades qui normalement ne renferment pas d'orthose sont dépourvus de toute thermoluminescence.

En ce qui concerne les cipolins, ils occupent une place à part. M. A. Lambert (3) a signalé la thermoluminescence d'échantillons de cipolins des environs de Fort-National. J'ai observé que cette thermoluminescence jaune-orangée ou jaune-or intense est une propriété commune à tous les cipolins de la région en étude; on la retrouve également dans les marbres du Filfila; elle est très marquée dans les calcaires métamorphisés par le granite du Filfila.

3. Parmi les roches éruptives, le granite de Ménerville est dépourvu de toute thermoluminescence, même au contact des gneiss. Les granites de Collo et de l'Edough donnent une thermoluminescence extrêmement faible; les granites du Filfila et d'El Milia possèdent une thermoluminescence un peu plus forte dans des tons bleuâtres, donc de teinte différente de celle des roches métamorphiques. La dacite du Cap Blanc donne également une thermoluminescence très faible.

En résumé, la thermoluminescence permet de différencier dans ce complexe de roches silicatées acides du littoral algérien ce qui est cristallophyllien de ce qui est éruptif.

---

(3) *Bull. Soc. Histoire naturelle de l'Afrique du Nord*, **26**, 1935, p. 68.

On admet qu'en général l'intensité de la thermoluminescence d'un minéral croît avec son âge. Aussi la grande intensité de la thermoluminescence des roches métamorphiques du littoral algérien fournit un nouvel argument en faveur de l'âge très ancien des terrains constitués par ces gneiss.

GÉOLOGIE. — *La série cambrienne et silurienne du Léon* (*Espagne*). Note de M. **Pierre Comte**, présentée par M. Lucien Cayeux.

En 1860, J. Barrande et E. de Verneuil ([1]) décrivaient des fossiles cambriens découverts par Casiano de Prado dans la chaîne cantabrique en Léon. Vers la même époque, Casiano de Prado ([2]) et L. Monreal ([3]) signalaient des schistes à graptolites aux confins du Bierzo. Ces données paléontologiques m'ont incité à entreprendre l'étude détaillée des formations cambriennes et siluriennes du Léon, en vue d'en établir la succession. Les coupes prises principalement dans les hautes vallées du rio Esla et de ses tributaires conduisent à la série suivante :

1° Calcaires de Lancara. — Griotte rouge (15 à 30^{m}). Il renferme la plus riche faune cambrienne de la péninsule : *Paradoxides Pradoanus* Barr. Vern., *Agraulos ceticephalus* Barr., *Ctenocephalus coronatus* Barr., *Conocoryphe Ribeiro* Barr. Vern., *C. Heberti* Berg. Mun-Chalm., *Agnostus* sp., *Stenotheca rugosa* Walc., *S. cantabrica* Barr. Vern., *Eoorthis primordialis* Barr. Vern., *Nisusia vaticina* Salt., *Billingsella Pellico* Barr. Vern., *B. penæ* Samp., *Acrothele primæva* Barr. Vern., *Obolella Barrandei* Walc., *O. leonensis* Samp., *Trochocystites bohemicus* Barr. ([4]). Cette faune est typiquement *acadienne*. Les couches rouges sont généralement précédées de calcaires cristallins. En quelques localités, près de Boñar en particulier, les formations sous-jacentes (50 à 60^{m} visibles) ne sont pas métamorphisées : ce sont alors des calcaires dolomitiques présentant parfois des traces d'organismes.

([1]) *Bull. Soc. géol. Fr.*, 2e série, **17**, 1860, p. 526-554.

([2]) *Ibid.*, p. 516.

([3]) *Bol. com. mapa. géol. Esp.*, 5, 1878, p. 204.

([4]) Aux fossiles de Casiano de Prado, il convient d'ajouter ceux recueillis sous la direction de L. Mallada et réunis à l'Institut géologique de Madrid. On trouvera à ce sujet une mise au point de P. H. Sampelayo dans *El sistema cambriano* (*Expl. del nuevo mapa geolog. de España*, Madrid, 1934). J'avais eu l'occasion de revoir cette collection qui présentait des fossiles remarquables.

2° Schistes et grès d'Oville (100 à 220m). — Schistes argileux verdâtres, micacés ou gréseux. Dans leur partie moyenne j'ai reconnu : *Paradoxides Barrandei* Barrois, *Ctenocephalus Castroi* Barrois, *Conocoryphe Ribeiro* Barr. Vern., Trilobite (nov. gen.), *Trochocystites bohemicus* ? Barr., *Scolithus linearis* Hall. La partie supérieure de ces schistes passe à des grès et des quartzites micacés en plaquettes renfermant, outre des *Scolithes*, *Lingulella Heberti* Barrois, dans les derniers bancs. Des sills de *dolérite* viennent souvent s'intercaler vers le sommet du complexe. La faune prouve qu'une grande partie des *schistes* et *grès d'Oville* est encore *acadienne;* seules les assises supérieures peuvent être attribuées au *Potsdamien*.

3° Quartzites de Barrios (200 à 300m). — Quartzites blancs en bancs épais. Près de la base on rencontre parfois des lits de roches *pyroclastiques;* elles ne semblent pas avoir de relation avec les *dolérites* précédentes qui paraissent notablement plus basiques. Dans les quartzites, pas d'autres traces organiques que des *bilobites* et de rares *scolithes*. Cette formation, par sa position, doit être considérée comme *ordovicienne*.

4° Schistes du Formigoso (60 à 100m). — Schistes noirs fins légèrement micacés parfois ampéliteux. Dans les assises inférieures j'ai trouvé un niveau fossilifère contenant : *Monograptus jaculum* Lapw., *M. concinnus* Lapw., *M. peregrinus* Barr., *M. regularis* Törn., *M. circularis* Ell. Wood., *M. runcinatus* Lapw., *M. variabilis* Pern., *M. nodifer* Törn., *M.* cf. *Becki* Barr., *M.* cf. *limatulus* Törn., *Glyptograptus tamariscus* var. *incertus* Ell. Wood., tous graptolites du *Valentian* (zones 19 à 23).

5° Grès de San Pedro (120 à 180m). — Quartzites bruns en plaquettes, puis grès ferrugineux rouges en bancs réguliers. Au sommet, riche faune *gédinnienne* à *Spirifer Mercuri* Gossel. et *Homanolotus Rœmeri* de Kon. La partie inférieure de ces grès et les *schistes du Formigoso* doivent être rapportés au *Gothlandien* (5).

Cette succession ressemble assez à celle que donnent L. Mallada et L. Buitrago (6) à propos de la région de la Peña Manteca (Asturies). Mais c'est surtout à la série établie par Ch. Barrois (7) dans le nord-ouest des Asturies et en Galicie qu'il est instructif de se reporter en vue des comparaisons. Les *calcaires* cristallins azoïques de *Vegadeo* (8) sont l'équivalent des *calcaires de Lancara*, le changement de faciès peut d'ailleurs se

(5) Pierre Comte, *Comptes rendus*, 198, 1934, p. 1164, et 202, 1936, p. 337.
(6) *Bol. com. mapa géol. Esp.*, 5, 1878, p. 177-194.
(7) *Mém. Soc. Géol. Nord*, ii, 1, 1882, p. 408-439.
(8) Anciennement, *Vega de Ribadeo*.

suivre dans la région sud-ouest des Asturies. Les *schistes de Vegadeo* ([2]) et de *Puente Radical* sont identiques comme faune et comme faciès à ceux d'*Oville*. Les *grès de Cabo-Busto* et les *quartzites de Barrios* se correspondent en majeure partie. Mais, tandis que dans des schistes, à la suite de ces formations gréseuses, une faune ordovicienne est bien représentée dans les Asturies, elle manque en Léon où, par contre, on trouve un peu plus haut une faune de graptolites gothlandiens qui fait défaut dans les Asturies, un faciès ampéliteux indique cependant ici le niveau probable où se situeraient ces graptolites. Dans l'une et l'autre des provinces en question, le Silurien se termine par des grès ferrugineux : *grès de Furada* dans les Asturies, *grès de san Pedro* en Léon. Ainsi, loin de se contredire, les données apportées par l'étude des deux versants s'accordent et se complètent : elles permettent de se faire une idée générale du Primaire ancien de la chaîne cantabrique.

GÉOLOGIE. — *Sur la géologie de la Moyenne Moulouya et de la terminaison orientale du Haut-Atlas.* Note ([1]) de M. **Georges Choubert**, présentée par M. Charles Jacob.

J'étudie depuis trois ans la géologie de la Moyenne Moulouya, des Hauts-Plateaux voisins et du Haut-Atlas oriental. Ce vaste secteur comprend plusieurs régions naturelles, déjà connues en gros, mais dont j'ai pu préciser l'allure, les détails structuraux (*fig.* 1) et surtout la stratigraphie.

1° Au Sud-Est de la retombée de l'édifice du Moyen-Atlas s'ouvre le vaste *bassin de la Moyenne Moulouya,* depuis longtemps connu, comblé de dépôts continentaux tertiaires.

2° De ces dépôts émerge à l'Est et au Sud-Est un pays à topographie confuse et heurtée : le Rekkame. Constitué d'assises d'âge crétacé au Sud et au Sud-Ouest, jurassique moyen au Nord et à l'Est, le Rekkame passe progressivement au Nord à l'immense dalle à peine inclinée de la Gada de Debdou. Il est caractérisé par une série de dômes et cuvettes d'allure hésitante, alternant avec des régions tabulaires.

3° Par atténuation de ses gauchissements et élévation de la cote moyenne du pays, le Rekkame passe, à l'Est, à la Dahra qui fait déjà partie des Hauts-Plateaux du Maroc oriental. Bajociennes à l'Ouest, liasiques à l'Est, les collines adoucies de la Dahra s'ennoient sous les dépôts continentaux tertiaires et quaternaires de Berguent-Tendrara.

([1]) Séance du 15 février 1937.

4° Ces trois régions sont bordées au Sud par le Haut-Atlas qui peut être subdivisé en :

a. Une zone de *plis marginaux ou satellites du Nord* constituée d'anticlinaux simples, réduits, souvent déversés vers le Sud. Ils affectent le Crétacé. Leurs axes montrent le Dogger.



Le secteur levé par l'auteur est délimité par le cadre en trait-point. Les accidents ont été reliés à ceux des régions avoisinantes d'après les travaux des géologues dont les noms figurent sur ce schéma.

b. La *crête majeure du Haut-Atlas.* Elle prolonge vers l'Est le massif de l'Ayachi (3751^{m}) et s'abaisse progressivement au Skindis (2167^{m}) et au Mechkakour (2121^{m}). On sait qu'elle se coude en baïonnette selon le tracé Skindis-Matarka et se continue ensuite par la crête des Trarit étudiés par M. Russo. Son versant Nord est assez abrupt. J'y ai observé localement des chevauchements atteignant 3^{km} (Asdad-Tameslent) mesurés par un témoin liasique indubitable qui repose sur le Crétacé. Ailleurs, j'ai mis en évidence des empilements d'écailles (Tameslent-Mazzer, Skindis) de faible extension, inclinées à $\pm 45°$. Au delà de Mechkakour le style devient plus tranquille et passe au chaînon droit, étroit et surbaissé des Trarit.

c. La *zone des plis de couverture sud-atlasiques,* large de 65^{km}-70^{km}, s'étale du Sud de la couverture crétacée de l'Atlas appelée *muraille saharienne.* Elle est affectée de

plis aigus droits, parfois déversés vers le Sud, dont le style est identique à celui décrit par MM. Fallot et Roch sur la transversale de Ksar-es-Souk-Midelt. Le schéma ci-joint précise leur tracé et leur évolution vers l'Est.

A part le vaste anticlinal de Bou Dahar-Ain Chaïr et celui du Djebel Mesrouh-Tarfafa, où le Primaire est largement représenté, ces plissements n'intéressent que la couverture jurassique du Haut-Atlas : les anticlinaux aigus de Lias ne laissent voir à leur centre que des terrains rouges et des basaltes, attribués au Trias; ils sont séparés par de larges synclinaux plats de Lias supérieur et de Dogger.

Ces plis sud atlasiques demeurent dans l'ensemble orientés vers l'Est. Ils n'épousent pas le mouvement en baïonnette de la dorsale atlasique. Dans l'intervalle ainsi formé les accidents intermédiaires, de plus en plus hésitants, s'épanouissent et meurent. La figure montre la transition ainsi réalisée entre le style du Haut-Atlas et celui des Hauts-Plateaux et de l'Atlas saharien.

Ainsi le puissant pli de fond à matériel paléozoïque du Haut-Atlas, déjà abaissé et enveloppé de sa couverture secondaire de l'Est dès l'Ayachi, se termine par un simple faisceau d'anticlinaux graduellement atténués où s'amorce dans le tronçon Skindis-Matarka le style en chenilles (Flamand) qui caractérise l'Atlas saharien. Le pli de fond atlasique proprement dit n'existe plus. Tout au plus pourrait-on voir dans les larges anticlinaux du Mesrouh et du Bou Dahar-Aïn Chaïr, un relai très atténué et décalé vers le Sud des dislocations du bâti ancien.

SÉISMOLOGIE. — *Comparaison entre les valeurs de la profondeur focale des tremblements de terre déterminées à l'aide des tables de Wadati et celles obtenues au moyen des courbes de Brunner.* Note de M. **Charles Bois**, présentée par M. Charles Maurain.

J'ai indiqué sommairement ([1]) qu'il y avait accord à 10 pour 100 près entre les valeurs de la profondeur focale des tremblements de terre que j'ai déterminées d'après les inscriptions de Strasbourg au moyen des tables de Wadati, et celles qui proviennent des sources suivantes :

1° études de Wadati et de ses collaborateurs au moyen des isolignes S — P;
2° travail de Miyamoto basé sur l'examen des phases PcP et ScS;
3° recherches des séismologues de la *Jesuit Seismological Association of America*, à l'aide des courbes de Brunner.

Je précise que l'accord entre mes résultats et ceux de Miyamoto est par-

([1]) *Comptes rendus*, 203, 1936, p. 101.

ticulièrement satisfaisant (écart relatif moyen, 4,9 pour 100). Avec les valeurs obtenues d'après la méthode de Wadati, l'écart est un peu plus élevé (8,7 pour 100) : il semble que, dans certains cas particuliers, cette méthode présente des difficultés d'application. Wadati, dans son catalogue des séismes japonais à foyer profond, a d'ailleurs abandonné certaines des valeurs précédemment obtenues par lui pour les remplacer par d'autres, calculées par Miyamoto et divers auteurs. Entre les valeurs du catalogue Wadati et les miennes, l'écart n'est plus que de 4,8 pour 100 : la concordance est donc très satisfaisante. Avec les valeurs publiées par les séismologues américains, l'écart moyen est un peu plus élevé (8,1 pour 100).

Date.		Région épicentrale.	Valeurs de la profondeur focale obtenues à l'aide des Tables de Wadati.	Valeurs de la profondeur focale obtenues à l'aide des Courbes de Brunner.
1924.	28 mai	Kouriles	450 km	490 km
1925.	27 mai	Japon	380	400
1926.	29 juin	Mer de Chine	140	170
	26 juillet	Japon	340	380
1928.	29 mars	Japon	400	400
	8 mai	Japon	570	600
1929.	13 janvier	Kouriles	140	150
	2 juin	Japon	320	350
1930.	10 mars	Japon	620	660
	21 décembre	Formose	160	180
1931.	20 février	Japon	360	380
1932.	4 avril	Japon	440	450
	23 septembre	Japon	300	320
	13 novembre	Japon	320	350
1933.	2 septembre	Japon	400	430
	4 décembre	Japon	320	340
1934.	3 janvier	Kamtchatka	280	300

Il m'a paru intéressant de reprendre la question à un autre point de vue et de rechercher à quels résultats conduirait l'application de plusieurs méthodes à l'interprétation des inscriptions de Strasbourg que j'ai étudiées précédemment. Malheureusement les méthodes de Wadati et de Miyamoto sont inapplicables; j'ai donc dû me borner à utiliser les courbes de Brunner. Dans le tableau ci-dessus, j'indique les valeurs de la profondeur du foyer

relatives aux 17 séismes dont il a été question dans ma précédente Note obtenues : 1° à l'aide des tables de Wadati; 2° au moyen des courbes de Brunner. On remarquera que les valeurs obtenues à l'aide de ces courbes sont généralement plus élevées que celles provenant de l'interprétation au moyen des tables de Wadati : il y a, en moyenne, une différence systématique de 25^{km} entre les deux séries de valeurs. Si, des résultats obtenus à l'aide des courbes de Brunner on retranchait 25^{km}, l'écart relatif moyen ne serait plus que de 5 pour 100, ce qui constituerait une concordance satisfaisante.

D'où peut provenir cet écart de 25^{km}? Les deux méthodes sont basées sur le même principe : étude des durées de propagation des phases classiques et des phases de Scrase. Elles diffèrent :

1° par les observations utilisées. Wadati a eu recours exclusivement aux données des séismes japonais, tandis que Brunner s'est appuyé sur l'étude de plusieurs tremblements de terre, issus de régions épicentrales différentes;

2° par les procédés de calcul qui ont servi à établir les hodocrones. Brunner a utilisé les méthodes de Knott, qui font intervenir certaines hypothèses relativement à la répartition des vitesses à l'intérieur du globe. Wadati a employé les formules classiques de Rudzki, Benndorf, et Wiechert-Herglotz, et a procédé à des intégrations graphiques sans introduire aucune hypothèse sur la variation des vitesses avec la profondeur.

Donc, en ce qui concerne les séismes japonais, il semble bien que les tables de Wadati fournissent des valeurs plus correctes que les courbes de Brunner. Pour les autres régions, il est plus difficile de conclure. Mais si l'on procède à une comparaison par région des valeurs obtenues, on constate (du moins pour celles où les séismes sont suffisamment nombreux) que la différence moyenne est toujours de l'ordre de 25^{km}. Si donc des anomalies locales interviennent pour modifier les vitesses de propagation, leur effet paraît négligeable devant les causes d'erreur dues à l'adoption des hypothèses de Knott (qui d'ailleurs s'accordent mal avec les observations relatives aux séismes très éloignés). Il semble donc que pour l'étude des tremblements de terre à foyer profond dont la distance épicentrale est comprise entre 3000^{mk} et 11000^{km}, il faille utiliser les tables de Wadati.

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Sur la persistance de la chlorophylle à la suite de l'action bactérienne.* Note de M. **Gustave Nicolas** et Mlle **Berthe Aggéry**, présentée par M. Marin Molliard.

Si les champignons parasites provoquent la plupart du temps la destruction des chloroplastes et la décoloration des tissus, il est des cas où les plastes persistent et conservent leur couleur verte au cours du jaunissement et pendant la dessiccation des feuilles. Cette persistance du pigment vert, observée dans différentes plantes parasitées par des Urédinées et des Erysiphacées, peut être provoquée aussi par des bactéries, comme en témoigne l'exemple suivant :

Hedera Helix L. — Nous observons depuis 1931 un Lierre arborescent de la cour de notre laboratoire, dont les feuilles présentent chaque année, dès le mois de janvier, des taches circulaires, vert clair, très nettes par transparence, rappelant un peut les taches d'huile du mildiou de la Vigne. Ces taches mesurent en moyenne 1^{cm} à $1^{cm},5$ de diamètre. Leur teinte vert clair est due au petit nombre des chloroplastes, tant dans le tissu palissadique que dans le tissu lacuneux. Un certain nombre de cellules n'en contiennent plus; dans d'autres, ils sont réunis autour du noyau et plus ou moins en voie de désorganisation; dans d'autres enfin, ils sont groupés en paquets. Ces caractères coïncident avec la présence de bactéries nettement visibles à la surface des chloroplastes; elles n'existent pas dans les régions bien vertes qui entourent les taches. Il s'agit d'une affection bactérienne relativement bénigne, qui reste localisée et dont l'étude est en cours. Nous pensons que ces bactéries sont inoculées aux feuilles par une Cochenille.

Au moment du jaunissement, les plages vert clair, où pullulent des bactéries, conservent, même après la chute et la dessiccation des feuilles, leur teinte, qui tranche nettement sur la couleur jaune uniforme du limbe. Tandis que dans les parties jaunes, les chloroplastes ont fait place à des chromoplastes jaunes, en voie de désorganisation, avec d'abondantes gouttes d'huile colorées en jaune, dans les régions parasitées restées vertes, les chloroplastes ont conservé les caractères indiqués précédemment.

Si nous retrouvons dans cette nouvelle maladie le mode d'action général des bactéries vis-à-vis des chloroplastes, il faut reconnaître que leur activité est réduite, relativement faible, n'entraînant ni la désorganisation complète des chloroplastes, ni la mort des cellules qui les hébergent, peut-être parce qu'elles se trouvent dans un milieu qui ne leur convient pas. Au

moment du jaunissement des feuilles, ces bactéries reçoivent vraisemblablement des cellules voisines, non parasitées, des matières azotées et hydrocarbonées qui. en proportions convenables, empêcheraient la transformation des chloroplastes en chromoplastes, d'où persistance dans les plages envahies par les bactéries d'une teinte vert clair. Quant à la conservation de la couleur verte au cours de la dessiccation, elle est peut-être due à une sorte de fixation des chloroplastes par les bactéries. C'est en effet par ce procédé que Lubimenko [1] explique la conservation des chloroplastes des feuilles de plantules de blé et de tabac ayant subi la fermentation bactérienne en présence de l'eau. Le mucilage qui résulte de cette fermentation, placé dans une solution à 5 pour 100 de glycérine dans l'eau bouillie ordinaire pour le blé, et à 5 pour 100 de glycérine et 0.2 pour 100 d'asparagine dans l'eau ordinaire pour le tabac, conserve pendant 9 et 6 mois sa coloration verte. Lubimenko croit à une sorte de fixation pendant la fermentation bactérienne, des plastes morts.

Nous ajouterons à ceci une observation, qui, si elle ne montre pas, comme la précédente, la persistance de la chlorophylle à la suite de l'action bactérienne, indique cependant une résistance de ce pigment à sa solubilisation par l'alcool.

Nous étudions actuellement une infection généralisée d'origine bactérienne de *Begonia gracilis*, caractérisée par le jaunissement du limbe par places, notamment sur les bords, puis la dessiccation avec affaissement des tissus (deux épidermes et trois assises de parenchyme chlorophyllien). Les plages desséchées, blanchâtres, sont entourées d'une zone jaune verdâtre, qui passe à sa périphérie à la couleur verte normale. L'action des bactéries, répandues partout, débute en général sur les bords, d'où elles progressent vers l'intérieur.

Si l'on plonge une feuille dans l'alcool à 95°, on observe qu'au bout de 24 heures les parties vertes, où les chloroplastes encore isolés présentent çà et là à leur surface de petits amas bruns, sont décolorées, tandis que, dans la zone qui entoure les régions desséchées, les chloroplastes groupés en paquets recouverts des mêmes masses brunes plus volumineuses et plus nombreuses ont conservé leur teinte vert jaune.

Sans qu'il puisse être question ici d'une persistance de la chlorophylle, car, si l'action bactérienne se continue, les cellules sont complètement tuées et se dessèchent, il y a, cependant, lieu de faire remarquer la non-solubi-

---

(1) *Rev. gén. de Botanique,* 38, 1926, p. 386-387.

lisation du pigment par l'alcool dans les cellules où l'action bactérienne est intense. Il est possible que cette résistance de la chlorophylle soit due à la présence du produit brun, peut-être chlorophyllane associée à une substance albuminoïde (au cours de nos recherches sur les maladies bactériennes nous avons fréquemment observé l'apparition d'amas bruns englobant plus ou moins complètement les chloroplastes). Ce que l'on sait de l'action protectrice qu'exercent certaines substances (gélatine, albumine, gomme arabique), vis-à-vis de la destruction de la chlorophylle viendrait à l'appui de notre hypothèse.

CHIMIE VÉGÉTALE. — *Sur l'altération des composés nucléiques végétaux au cours de leur extraction en milieu trichloracétique.* Note de M. **Émile Michel-Durand**, présentée par M. Maurice Javillier.

Des anomalies relatives aux propriétés caractéristiques des composés nucléiques observées au cours de recherches sur le *Sterigmatocystis nigra*, m'ont conduit à me demander s'il n'y avait pas lieu d'incriminer l'influence des solutions acides utilisées comme solvants. Yves Colin (1) avait observé des phénomènes de même nature et s'était déjà posé la même question. On sait d'ailleurs combien, d'une façon générale, les protéides sont sensibles à l'action des acides et M. Javillier (2) a déjà insisté sur le fait que les nucléoprotéides présentent une extrême sensibilité à la réaction du milieu.

Il semble donc bien que les solutions d'acides minéraux étendus, souvent utilisées à chaud pour l'extraction des principes phosphorés des tissus végétaux, exercent une influence néfaste sur les nucléoprotéides, qui subiraient, d'après certains auteurs, une altération purement physique. Malgré leur supériorité en tant que solvants de l'ensemble des principes phosphorés des tissus végétaux, Y. Colin a dû renoncer à leur utilisation.

J'espérais toutefois qu'en opérant à froid et avec un acide organique, l'acide trichloracétique, il me serait possible de limiter l'intervention du réactif à l'immobilisation de la fraction protéique et à l'entraînement en solution de la fraction nucléique. Afin de dissoudre la totalité des principes phosphorés, j'épuisais à froid, par lixiviation sur Buchner, la farine déli-

(1) *Thèse Doctorat ès-sciences*, Paris, 1936.

(2) *Bull. Soc. Chimie biologique*, 11, 1929, p. 644.

pidée de mycélium avec une solution d'acide trichloracétique à 10 pour 100 (pH = 1,1). L'opération durait entre 5 et 6 heures et donnait d'une part, un extrait qui était analysé dans les 24 heures, d'autre part, un résidu imprégné de solution trichloracétique. Au bout de 48 heures ce dernier était délayé dans 100^{cm^3} de solution chlorurée à 12,5 pour 100; le mélange neutralisé, porté à l'ébullition, était centrifugé pour isoler l'extrait.

Les deux solutions ainsi obtenues peuvent renfermer des principes nucléiques. Or ceux de l'extrait trichloracétique ont subi le contact de l'acide à 10 pour 100 pendant 24 heures; ceux de l'extrait chloruré ont été pendant 48 heures au moins, imprégnés de la même solution acide, de concentration d'ailleurs croissante par suite de l'évaporation de l'eau à l'air libre.

La séparation des composés nucléiques de ces deux extraits été tentée successivement avec l'acide chlorhydrique et l'alcool chlorhydrique. Voici les résultats obtenus :

	Acide chlorhydrique	Alcool chlorhydrique.
Extrait trichloracétique............	rien	précipité renfermant 1^{mg},5 de phosphore
Extrait chloruré..................	rien	rien

Cependant, comme me l'a montré l'expérience, l'extrait chloruré renferme du phosphore non précipitable par la mixture magnésienne, inclus dans un composé hydrolysable par ébullition prolongée en milieu alcalin, d'origine protidique, étant donné la nature du matériel et les traitements préalables auxquels il a été soumis.

Dans ces conditions on peut admettre que les composés nucléiques de l'extrait chloruré ont été dénaturés à la suite du traitement acide effectué sur la poudre végétale. La preuve de ce fait nous est donnée par la réaction de Feulgen.

On sait que cette dernière repose sur une dégradation ménagée des nucléoprotéides sous l'influence des acides minéraux étendus à la température de 60°. Quoique cette réaction soit encore mal définie, on admet que l'altération des composés nucléiques libère des fonctions aldéhydiques qui donnent la réaction de Schiff. Or, on peut, sur les tissus, obtenir la réaction de Feulgen en remplaçant l'acide chlorhydrique normal par une solution d'acide trichloracétique à 10 pour 100 et en chauffant pendant 15 minutes. On réalise la même réaction à froid au bout de 48 heures.

Après un contact de 24 heures, à la température ordinaire, avec cette même solution, les noyaux des méristèmes radiculaires d'*Allium* présentent

nettement cette réaction ([3]). Si l'interprétation donnée pour la réaction de Feulgen est exacte, il ne s'agit pas seulement ici d'une simple modification physique des acides nucléiques, mais d'une altération plus profonde intéressant notamment le groupement glucidique.

On peut donc conclure que le contact à froid d'une solution trichloracétique à 10 pour 100 détermine une altération notable des composés nucléiques des tissus. Ainsi s'expliquent les anomalies de précipitation constatées par les différents auteurs (Colin, Michel-Durand) et se trouve pleinement justifiée la supériorité des solutions salines neutres préconisées par Javillier pour l'extraction des composés nucléoprotéidiques en vue du dosage du phosphore nucléique.

PATHOLOGIE VÉGÉTALE. — *Recherches morphogéniques et concurrence vitale chez les Hypocréacées viticoles.* Note de M. **René Morquer**, présentée par M. Marin Molliard.

La concomitance de plusieurs formes de spores sur des sarments de Vigne a conduit les mycologues et les pathologistes à rechercher si ces fructifications étaient élaborées par des organismes distincts ou si elles correspondaient aux différents stades du développement d'un champignon unique.

Passerini a signalé le premier (1876) la présence du *Fusarium viticolum* à Rapallo. Von Thümen, en 1877, en a décrit les conidies fusiformes arquées, bourgeonnant sur des coussinets qui entourent les périthèces du *Nectria viticola* Berk et Curt, et a rapporté hypothétiquement à cette dernière espèce les spores disséminatrices de la première. Mameli, Allescher, Lindau, L. Rives, Foëx, Nagorny ont identifié au même *Fusarium* des champignons qu'ils ont signalés en Sardaigne, Bavière, Angleterre, France, au Caucase. Jamais cependant ces auteurs n'ont pu démontrer avec certitude si ces deux formes de multiplication et de reproduction appartenaient à un même organisme.

En vue d'isoler éventuellement les différentes espèces de micromycètes qui pourraient se trouver en rapport de contiguïté, j'ai entrepris, par voie expérimentale, l'étude des différentes formes d'Hypocréacées associées sur les rameaux de *Vitis vinifera* et de ses hybrides avec le *V. Berlandieri*. J'ai

([3]) Communication verbale de M. Gavaudan.

séparé en cultures monospermes deux catégories de spores : A. des conidies ovoïdes sur des stromas rosés; B. des chlamydospores uni-bicellulaires dont j'ai suivi le développement sur des milieux naturels et synthétiques (mannitol 3 pour 100; peptone 0,465 pour 100).

Des investigations relatives à la germination, la croissance mycélienne, la forme de l'appareil sporifère, l'aspect microscopique, me permettent d'établir la dualité des microorganismes associés.

A. Le bourgeonnement des conidies à l'extrêmité des phialides fusiformes disposées irrégulièrement en verticilles, leur agglutination en capitules par un mucilage provenant de la gélification de la paroi, caractérisent morphologiquement un *Acrostalagmus*.

L'observation et l'examen critique d'espèces affines, sur des solutions nutritives variées, et à diverses concentrations des constituants carbonés, nous ont montré que la disposition verticillée était loin de présenter une généralité suffisante pour justifier la distinction systématique fondée entre les genres. En effet, la carence de l'aliment glucidique provoque des modifications dans la manière dont les conidiophores sont répartis sur les filaments fertiles.

Des recherches concernant le déterminisme de la formation des spores, j'ai conclu à la nécessité de distinguer des morphoses d'ordre général et des variations d'un caractère plus spécial.

1° L'*abaissement de la teneur en carbone* au-dessous d'un minimum (compte tenu du nombre de germes introduits dans le milieu) *tend d'une manière générale à dissocier les conidiophores*. Telles sont les modifications que j'ai observées dans le cas du *Dactylium macrosporum*, du *Penicillium palitans* etc..

2° La forme et la disposition des phialides et des spores varient suivant l'espèce considérée, fournissant ainsi des données biologiques qui viennent s'ajouter utilement aux considérations statiques trop exclusivement invoquées en vue de la caractérisation des espèces. C'est ainsi que l'*Acrostalagmus cinnabarinus* ne produit plus qu'un faible nombre de sphérules mucilagineuses dans les milieux carencés en carbone, tandis que les hyphes terminaux du champignon dressent, dans l'air, des ramuscules grêles, sinueux, simples ou dichotomes, porteurs de spores uniques on de conidies naines insérées isolément sur des conidiophores en épis.

Réagissant différemment à l'appauvrissement de la solution nutritive, l'*Acrostalagmus ampelinus* sp. nov. forme des glomérules conidiens solitaires ou disposés par deux et de diamètre décroissant; cette morphose

précède immédiatement l'inhibition de la sporogénèse à une concentration de $0^{mg},45$ de mannitol.

En ce qui concerne cette espèce, la production des spores paraît donc bien liée à leur groupement en capitules et à l'élaboration d'un mucus qui les maintient agglutinées.

Inversement une *élévation de la teneur en carbone*, au-dessus d'un minimum, *détermine un accroissement du nombre des phialides, de leurs dimensions ainsi que de celles des conidies.*

D'autre part la morphologie externe, la consistance et la pigmentation des périthèces stériles, les analogies que j'ai mises en évidence entre le stade conidien de l'*Acrostalagmus ampelinus* et celui du *Nectria Daldiniana* de Notaris, ainsi que du *N. inventa* Pethybridge me conduisent à envisager le premier de ces organismes comme une forme imparfaite d'un champignon du genre *Nectria*.

B. L'application de la méthode des dilutions a permis de séparer une autre Mucédinée dont les spores offrent un polymorphisme remarquable : la forme des conidies se modifie d'abord avec le temps, dans le sens de l'allongement des conidies; d'abord exclusivement oblongues au début de la sporogénèse, elles deviennent plus tard arquées, puis se cloisonnent après leur chute.

Simultanément s'observent, à partir du 10e jour, des *microconidies* ovoïdes unicellaires et des *macroconidies* falciformes, uniseptées en majorité. Des *chlamydospores* terminales ou intercalaires, généralement unicellulaires, apparaissent ensuite; leur formation trouve sa cause dans un épuisement local des réserves.

En résumé, l'*association fongique caractérisée sur les Vignes* bulgares *est constituée par deux organismes bien distincts : Acrostalagmus ampelinus*, forme hypothétique d'un *Nectria*, et *Fusarium vasinfectum*, champignons appartenant vraisemblablement au groupe des Hypocréacées.

GÉNÉTIQUE. — *La prétendue stérilité du Lys tigré* (Lilium tigrinum *Ker Cawl*), *due à sa triploïdie*. Note (1) de MM. **Maurice de Caraman** et **Christian Champy**.

On considère généralement le Lys tigré comme stérile (2) avec sa propre espèce et dans les croisements. On n'a obtenu la fécondation que dans des cas exceptionnels et rares. On attribue cette stérilité à la triploïdie de cette espèce. Cette triploïdie a été mise en évidence par Hall (3). Cet auteur a étudié les chromosomes de diverses espèces de Lys et montré que le nombre diploïde de toutes les espèces est de 24, sauf le *Lilium tigrinum* et ses variétés qui ont 36 chromosomes. Nous avons pu vérifier ces faits dans leur ensemble, malgré les incertitudes d'une numération exacte dans une série suffisante de cellules, chez ce genre où les chromosomes sont très longs et emmêlés (4).

Nagamatsu et Takemaka attribuent la stérilité à l'anomalie des méïoses qui donneraient lieu à des cellules sexuelles mal formées au point de vue chromatique. Stout, plus objectivement, cherche à expliquer cette particularité par la non pénétration du boyau pollinique qui serait, chez *Lilium tigrinum*, trop court pour traverser le style des autres espèces et de la sienne propre. Stout a cependant pu réussir de rares fécondations croisées, tout à fait exceptionnelles. Miss Preston (5) a obtenu, aussi par exception, un hybride entre *L. tigrinum* et *L. maximovici*.

Il ne semble pas qu'il s'agisse dans cette stérilité d'une altération des gonades; en effet, entre nos mains, *Lilium tigrinum* a pu être fécondé très régulièrement par les pollens suivants : *L. thunbergianum* (var. *venustum*), *davidi* (var. *macranthum*) et *batemanniæ*. Les graines ont germé normalement et les plantules ne sont pas identiques, d'une série à l'autre, ce qui exclut l'idée de parthénogénèse provoquée.

---

(1) Séance du 15 février 1937.

(2) Stout, *Lily Yearbook*, 1933, p. 142-171; Sato Masayosi, *Bot. Mag.*, Tokyo, 46, 1932, p. 66-88; Takemaka et Nagamatsu, *Bot. Mag.*, Tokyo, 44, 1930, p. 386-391.

(3) *Lily Yearbook*, 1934, p. 35-45.

(4) On peut aisément compter quelques cellules favorables. On ne peut pas compter *toutes* les cellules et s'assurer de la constance rigoureuse de ces nombres. On peut observer, en tout cas, que ce sont les nombres les plus fréquents.

(5) *Lily Yearbook*, 1933, p. 173-190.

Par contre, plus de 200 croisements, faits avec chacune des espèces suivantes, ont été stériles : *L. princeps*, *henryi*, *candidum*, *auratum*, *regale*, *speciosum* [6].

Si l'on considère la longueur des styles d'espèces comme *princeps*, *henryi*, *auratum*, *regale*, comparée à celle de *Lilium tigrinum* et si l'on songe que ces espèces sont autofécondes, on est obligé d'admettre que le boyau pollinique, qui traverse leur long style, est assez long pour atteindre l'ovule de *Lilium tigrinum*. L'explication de Stout n'est donc pas suffisante, bien que valable peut-être dans quelques cas. Cependant il semble s'agir, dans les cas de stérilité, d'anomalies occasionnelles des phénomènes accessoires de la fécondation et non d'incompatibilités de chromatine [7]. En effet, les fécondations que nous avons obtenues montrent, par leur régularité, qu'il ne s'agit pas d'une incompatibilité génétique, car les *Lilium batemanniæ*, *thunbergianum* et *davidi* ont le même nombre de chromosomes que les espèces qui ont donné des résultats négatifs.

Ceci montre combien il est imprudent de tirer de l'étude des chromosomes des conclusions hâtives, avant d'avoir préalablement étudié à fond les conditions accessoires de la fécondation, dont les anomalies se montrent si fréquentes et expliquent un grand nombre de cas de stérilité.

Nous aurons l'occasion de confirmer ces conclusions par l'étude d'hybridation d'autres espèces présentant des particularités chromatiques et considérées comme stériles pour des causes génétiques et par celle des conditions de germination des pollens.

BIOLOGIE MATHÉMATIQUE. — *Quelques conséquences de l'hérédité mendélienne*. Note de M. **Gustave Malécot**, présentée par M. Émile Borel.

Soit une population F_0 de N individus adultes (animaux ou plantes) ne différant que par un caractère mendélien.

Soient P, 2 Q, R $(P + 2Q + R = 1)$ les proportions des trois génotypes *aa*, A*a*, AA, que nous désignerons par les indices 1, 2, 3.

Dans la génération suivante F_1, composée de N_1 individus, ils se trouveront dans les proportions : P_1, $2Q_1$, R_1. Notre but est d'indiquer sous des

---

[6] Nous avons fait en tout plus de 2000 croisements.

[7] En effet, *L. tigrinum* s'est montré stérile entre nos mains dans de nombreuses conditions de végétation.

conditions assez générales la relation stochastique entre les proportions des trois génotypes dans F_0 et dans F_1. M. R. A. Fisher [1] a donné, dans le cas de la panmixie, une relation approchée entre les proportions des gènes a et A dans F_0 et dans F_1 (proportions qui sont $p = P + Q$, $q = Q + R$, $p_1 = P_1 + Q_1$, $q_1 = Q_1 + R_1$); et il a trouvé, pour la fonction génératrice du nombre $2N_1p_1$ de gènes a dans F_1 : $e^{2Npc(x-1)}$, c étant l'avantage sélectif du gène a.

Il est possible de généraliser cette formule de la manière suivante :

1° En s'affranchissant de l'hypothèse de panmixie. Nous introduisons alors, avec M. de Finetti [2], des coefficients d'homogamie λ_{ij} (égaux à 1 dans le cas de la panmixie) tels que les accouplements des différents génotypes aient les probabilités respectives

$$P^2\lambda_{11},\quad 4PQ\lambda_{12},\quad 4Q^2\lambda_{22},\quad 2PR\lambda_{13},\quad 4QR\lambda_{23},\quad R^2\lambda_{33}.$$

Nous désignons par g_{ij} le nombre moyen de germes produits par chacun de ces couples, et nous supposons, comme le suggère M. Fisher, que le nombre de germes soit réparti autour de sa moyenne g_{ij} suivant une loi de Poisson (l'inégalité des g_{ij} traduit la fécondité différentielle).

2° En supposant, en outre, que les germes (larves ou graines) des trois génotypes ont des probabilités différentes, Π_1, Π_2, Π_3, de survivre jusqu'à l'état adulte. Cette survivance différentielle est probablement, dans le cas d'espèces produisant un grand nombre de germes (Drosophiles, Céréales), un facteur important de la sélection naturelle.

Sous ces hypothèses, on obtient, pour les nombres N_1P_1, $2N_1Q_1$, N_1R_1, d'individus des trois génotypes composant F_1, la fonction génératrice à trois variables x_1, x_2, x_3,

$$\Big\{ P^2\lambda_{11}\, e^{g_{11}\Pi_1(x_1-1)} + 4PQ\lambda_{12}\, e^{g_{12}\left[\frac{\Pi_1}{2}(x_1-1)+\frac{\Pi_2}{2}(x_2-1)\right]}$$
$$+ 4Q^2\lambda_{22}\, e^{g_{22}\left[\frac{\Pi_1}{4}(x_1-1)+\frac{\Pi_2}{2}(x_2-1)+\frac{\Pi_3}{4}(x_3-1)\right]}$$
$$+ 2PR\lambda_{13}\, e^{g_{13}\Pi_2(x_2-1)}$$
$$+ 4QR\lambda_{23}\, e^{g_{23}\left[\frac{\Pi_2}{2}(x_2-1)+\frac{\Pi_3}{2}(x_3-1)\right]} + R^2\lambda_{33}\, e^{g_{33}\Pi_3(x_3-1)} \Big\}^{\nu},$$

ν désignant le nombre d'accouplements dans F_0.

---

(1) *The Genetical Theory of Natural Selection*, p. 75; *Proc. Roy. Soc. Edinb.*, **42**, 1922, p. 325.

(2) *R. C. dei Lincei*, **1**, 1927, p. 1026; *Rivista di Biologia*, **9**, 1928, p. 1.

Cela fournit les valeurs moyennes

$$\overline{N_1 P_1} = \nu \Pi_1 (P^2 \lambda_{11} g_{11} + 2 PQ \lambda_{12} g_{12} + Q^2 \lambda_{22} g_{22}),$$
$$2\overline{N_1 Q_1} = 2 \nu \Pi_2 (PQ \lambda_{12} g_{12} + Q^2 \lambda_{22} g_{22} + PR \lambda_{13} g_{13} + QR \lambda_{23} g_{23}),$$
$$\overline{N_1 R_1} = \nu \Pi_3 (Q^2 \lambda_{22} g_{22} + 2 QR \lambda_{23} g_{23} + R^2 \lambda_{33} g_{33}).$$

En écrivant qu'elles sont proportionnelles à P, 2Q, R, on retombe sur l'étude de l'équilibre mendélien faite par Finetti.

On peut aussi calculer les écarts types qui renseignent sur l'importance des fluctuations dues au hasard. On a par exemple

$$\sigma_1^2 = \overline{N_1 P_1} + \nu \Pi_1^2 \left(P^2 \lambda_{11} g_{11}^2 + PQ \lambda_{12} g_{12}^2 + \frac{Q^2}{4} \lambda_{22} g_{22}^2 \right) - (\overline{N_1 P_1})^2.$$

La fonction génératrice des nombres de gènes $2N_1 p_1$ et $2N_1 q_1$ dans F_1 s'obtient immédiatement en remplaçant x_1, x_2, x_3 par u^2, uv, v^2.

Les formules obtenues résument un grand nombre de cas particuliers. On retrouve par exemple le résultat de Fisher en supposant que les gènes a sont en nombre faible et portés uniquement par des hétérozygotes, leur fonction génératrice est alors (en négligeant P et Q^2)

$$(4QR\lambda_{23})^\nu e^{\nu g_{23} \frac{\Pi_2}{2}(x-1)},$$

c'est bien le résultat de Fisher.

En supposant qu'il y ait panmixie et égale fécondité ($\lambda_{ij} = 1$, $g_{ij} = g$), les moyennes se simplifient et deviennent

$$\overline{N_1 P_1} = \nu \Pi_1 g p^2, \qquad 2\overline{N_1 Q_1} = 2\nu \Pi_2 g p q, \qquad \overline{N_1 R_1} = \nu \Pi_3 g q^2,$$

donc

$$\frac{p_1}{q_1} = \frac{P_1 + Q_1}{Q_1 + R_1} = \frac{p}{q} \frac{\Pi_1 p + \Pi_2 q}{\Pi_2 p + \Pi_3 q}.$$

On étudie alors aisément la variation au cours du temps des proportions des deux gènes.

Si l'hétérozygote est intermédiaire entre les deux homozygotes, par exemple si $\Pi_1 < \Pi_2 < \Pi_3$, le rapport $y = p/q$ tend vers zéro au cours des générations, le gène le moins résistant est éliminé, avec une vitesse donnée par

$$\Delta y = y \frac{(\Pi_1 - \Pi_2) y + \Pi_2 - \Pi_3}{\Pi_2 y + \Pi_3}.$$

Si l'hétérozygote est plus résistant que les deux homozygotes, c'est-

à-dire si $\Pi < \Pi_2 > \Pi_3$, y tend vers $\Pi_2 - \Pi_3/\Pi_2 - \Pi_1$, c'est l'équilibre stable signalé par Fisher (p. 100) (si $\Pi_1 > \Pi_2 < \Pi_3$, on n'a qu'un équilibre instable, il y a en réalité élimination d'un des gènes).

Cela fournit une interprétation des résultats obtenus par MM. L'Héritier et Teissier sur la concurrence entre gènes ([3]).

PARASITOLOGIE. — *Cycle évolutif de* Brachylæmus suis *L. B.* 1936. Note de M. **Lucien Balozet**, présentée par M. Emmanuel Leclainche.

Nous avons pu déterminer, par l'observation et l'expérience, le cycle évolutif de *Brachylæmus suis*, trématode trouvé par nous dans l'intestin des porcs de Tunisie ([1]). Nous avons récolté, sur les terrains de pâturage des porcs parasités, des gastéropodes qui, pour la plupart et souvent tous, sont porteurs, pendant la saison favorable, de cercaires et de métacercaires de *Brachylæmus*. Ces métacercaires, ingérées par des animaux d'expérience, ont pu évoluer et devenir adultes chez les hôtes suivants : lapin, rat, souris, mérion (*Meriones shawi* Rozet), pigeon domestique. Nous avons échoué chez le cobaye et la poule. Les infestations obtenues ont été parfois très abondantes, notamment chez le pigeon, et il est intéressant de souligner l'aptitude de *Br. suis* à se développer facilement chez divers mammifères et chez les oiseaux.

Les mollusques, hôtes intermédiaires, sont de petits Hélicidés du genre *Xerophila*, et un Sténogyridé très répandu en Afrique du Nord, *Rumina decollata* L.

Les œufs de *Br. suis* sont embryonnés au moment de la ponte, mais ils subissent une maturation dans le milieu extérieur. Mis dans l'eau, ils peuvent éclore à partir du 3e jour à 18°. L'éclosion, qui a pu être suivie une fois au microscope, donne la liberté à un miracidium de forme ovoïde, pourvu, en avant, d'une partie pointue, en arrière, de deux groupes de cils. Il mesure 17^{μ} de long, sans les cils, 10^{μ} de large; les cils ont 10^{μ} environ.

Dans la nature, il est probable que les mollusques s'infestent en ingérant les œufs, car le miracidium ne saurait vivre à la surface du sol ou sur les végétaux. Nos essais d'infestation de mollusques par les œufs de *Br. suis* ont échoué jusqu'ici, mais nous avons pu trouver des mollusques naturelle-

([3]) Voir en particulier *C. R. Soc. Biol.*, 117, 1934, p. 1049.

([1]) *Bulletin de l'Académie vétérinaire de France*, 9, 1936, p. 93.

ment porteurs, dans la glande digestive, de sporocystes à divers degrés de développement. Ces sporocystes sont des tubes de 100 à 200$^{\mu}$ de diamètre qui se ramifient. Leur paroi est très mince et leur extrémité épaissie. Ils contiennent des cercaires. Les plus évoluées mesurent, en moyenne extension, 300$^{\mu}$ de long et 80 à 90 de large. Elles sont pourvues d'un rudiment caudal, de forme conique obtuse, de 20$^{\mu}$ de long, séparé du corps par un léger sillon.

Les dimensions des métacercaires varient selon le degré de leur évolution. Au début elles ressemblent beaucoup aux cercaires et conservent quelque temps le rudiment caudal. Pleinement développées, non contractées, elles mesurent 1^{mm},5 à 1^{mm},6 de long sur 0^{mm},6 de large. La ventouse buccale a 230$^{\mu}$ de diamètre, la ventrale, 200.

Les métacercaires se trouvent, principalement, dans la glande suprapédieuse. D'une manière beaucoup moins fréquente, on peut les trouver aussi dans les autres glandes pédieuses, dans la glande rénale, dans le péricarde, dans le bourrelet du manteau, et même dans la cavité viscérale, sous le tégument de la région dorsale. La glande suprapédieuse paraît être l'habitat de prédilection. Selon la taille du mollusque, les cercaires y sont plus ou ou moins nombreuses ; parfois on en trouve une cinquantaine.

Les coupes d'escargots parasités à la fois par des cercaires et par des métacercaires n'ont pas permis d'observer une migration des cercaires de la glande digestive vers la glande suprapédieuse. La migration doit donc se faire en partie par la route indiquée par Sinitsin, vérifiée par Joyeux, Baer et Timon-David pour *Br. fuscatus* (2) : canal hépatique, canal intestinal et rejet à l'extérieur. Là, les cercaires rampent à la surface du mollusque à la recherche d'un orifice où elles pénètrent et où elles poursuivent leur développement si le lieu est favorable. Nous avons pu infecter des *Xerophila* en les déposant dans un cristallisoir contenant une petite quantité d'eau où se trouvaient des cercaires, ou en déposant celles-ci dans l'ouverture de la coquille. Après 20 jours, les métacercaires semblaient près de la maturité et mesuraient 1^{mm},5. Pendant les cinq premiers jours, il a été possible de voir des cercaires bien vivantes ramper à la surface du pied des escargots et aussi de trouver des cercaires mortes dans les excréments de ces mollusques.

Les mollusques deviennent parasités en grand nombre quelque temps

(2) *Comptes rendus*, 195, 1932, p. 972-973; *Bull. biologique de la France et de la Belgique*, 68, 1934, p. 385-418.

après les premières pluies automnales, c'est-à-dire depuis la fin d'octobre ou le début de novembre. L'infestation est très forte jusqu'en février. Elle diminue alors progressivement.

L'infestation des porcs suit la même courbe : rare en été, très fréquente en hiver. Elle peut atteindre, chez les animaux affaiblis, un degré extrêmement élevé. Les porcs en bonne santé paraissent supporter sans dommage la présence des trématodes, dont l'action spoliatrice n'est certaine que lorsqu'ils sont en très grand nombre. *Br. suis* paraît, en Tunisie, un parasite très commun chez tous les porcs qui sont conduits au pâturage et y mangent les petits escargots, si communs dans le pays, et dont ils sont friands.

Le cycle évolutif de *Br. suis* est donc analogue à celui des parasites du même genre étudiés par Hofman, par Sinitsin, par Joyeux, Baer et Timon-David. Il en diffère par des détails : hôtes intermédiaires, dimensions des métacercaires, et surtout par la localisation très curieuse de ces dernières dans la glande suprapédieuse des Gastéropodes.

A $15^{h}45^{m}$ l'Académie se forme en Comité secret.

COMITÉ SECRET.

La Section de Minéralogie, par l'organe de son doyen M. Barrois, présente la liste suivante de candidats à la place vacante par la mort de M. *Wallerant* :

En première ligne.......... M. **Charles Mauguin**.

En seconde ligne, ex æquo, *par ordre alphabétique*.... MM. **Léon Bertrand**, **Paul Gaubert**, **François Grandjean**, **Paul Lemoine**, **Emmanuel de Margerie**.

Les titres de ces candidats sont discutés.

L'élection aura lieu en la prochaine séance.

La séance est levée à $16^{h}30^{m}$.

A. Lx.